

**ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE INESTABILIDAD DEL
TERRENO EN LA VÍA VÉLEZ – CHIPATÁ DEL K0+000 AL K8+000**

CAMILO ANDRADE CARREÑO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2012**

**ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE INESTABILIDAD DEL
TERRENO EN LA VÍA VÉLEZ – CHIPATÁ DEL K0+000 AL K8+000**

**CAMILO ANDRADE CARREÑO
2060774**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**DIRECTOR
M.SC. HEBENLY CELIS LEGUIZAMO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis sinceros agradecimientos a:

Dios, mis padres Álvaro y Carmen, y mi hermano Daniel.

Mi directora Hebenly Celis, por su asesoría, colaboración y paciencia con mi proyecto de grado.

El Ingeniero Civil Ramón Iván Ordoñez por la oportunidad laboral y además facilitarme documentos de gran valor para el desarrollo del proyecto.

El Ingeniero Civil Jaime Suárez por sus aclaraciones a mis dudas en materia de geotecnia.

Las entidades que me facilitaron la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo como Ingeominas e IGAC.

Mis demás familiares y mis inseparables amigos por su incondicional apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GENERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	20
2.1. ACCESO	21
2.2. VÉLEZ	22
2.3. CHIPATÁ	23
3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
3.1. GEOLOGÍA	25
3.1.1. Formación Paja (Kip	28
3.1.2. Formación Tablazo (San Gil inferior) (Kit)	30
3.1.3. Depósitos del Cuaternario (<i>coluviones</i>)	31
3.2. TOPOGRAFÍA	32
3.3. GEOTECNIA	34
3.3.1. Clasificación de los fenómenos de remoción en masa.	35
3.3.2. Caídas.	35
3.3.2.1. Flujos.	37
3.3.2.1.1. Flujos de lodo.	38
3.3.2.1.2. Flujos de tierra	39
3.3.2.1.3. Flujos de detritos.	39
3.3.1.2. Reptación	40
3.3.1.3. Deslizamientos	40
3.3.1.3.1. Rotacional.	41

3.3.1.3.2. Traslacional.	42
3.3.1.4. Volcamiento	43
3.3.1.5. Movimientos complejos	43
3.3.2. Inventario de fenómenos de remoción en masa ocurridos en la vía	47
3.3.3. Ensayos De Laboratorio	50
3.3.3.1. Granulometría	53
3.3.3.2. Límites de Atterberg.	54
3.3.3.3. Corte Directo.	54
3.3.3.4. Resultados	56
3.4. HIDROLOGÍA	57
3.5. FACTORES AMBIENTALES	61
3.5.1. Evaporación	61
3.5.2. Humedad en el ambiente	61
3.5.3. Temperatura	62
3.5.4. Viento	63
3.6. FACTORES ANTRÓPICOS	64
3.6.1. Uso del suelo	65
3.6.1.1. Clasificación agrológica.	66
3.6.2. Construcciones	68
3.6.3. Tránsito vehicular	69
3.7. SISMICIDAD	69
4. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACIÓN DE INESTABILIDAD	71
4.1. MÉTODOS DE EVALUACIÓN	71
4.1.1. Método Empírico	72
4.1.2. Método determinístico	73
4.1.3. Método Probabilístico	73
4.1.4. Método Heurístico	74
4.2. ANÁLISIS HEURÍSTICO DE LA INESTABILIDAD DE LA VÍA MEDIANTE EL USO DEL SIG	75
4.2.1. Parámetros Condicionantes	77

4.2.1.1. Geología.	77
4.2.1.2. Hidrología.	79
4.2.1.3. Geomorfología.	80
4.2.1.4. Uso Actual del Suelo.	81
4.3. MAPA DE LA SITUACIÓN DE INESTABILIDAD MEDIANTE SIG	83
4.3.1. Clasificación.	85
5. CONCLUSIONES	90
BIBLIOGRAFIA	92
ANEXOS	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Delimitación del estudio.	20
Figura 2. Departamento de Santander. División político administrativa por provincias.	22
Figura 3. Cabecera municipal de Vélez.	23
Figura 4. Cabecera municipal de Chipatá.	24
Figura 5. Mapa geológico de la zona de estudio.	27
Figura 6. Geología de la zona - Vista microscópica.	28
Figura 7. Morfología laminar de la formación Paja presente en la vía.	29
Figura 8. Estratificación de las formaciones geológicas presentes.	31
Figura 9. Mapa topográfico de la zona de estudio.	34
Figura 10. Desprendimiento en la vía Vélez – Chipatá.	37
Figura 11. Flujo de lodos en la vía Vélez-Chipatá.	38
Figura 12. Flujo de tierra.	39
Figura 13. Fenómeno de Reptación en la vía.	40
Figura 14. Geomorfología de un deslizamiento de forma rotacional.	41
La ocurrencia de este tipo de deslizamiento es muy escasa en la zona de estudio.	42
Figura 15. Tipos de Deslizamiento Traslacional.	42
Figura 16. Tipos de Volcamiento.	43
Figura 17. Fenómeno de Reptación en la vía.	47
Figura 18. Mapa de fenómenos de remoción en la vía.	50
Figura 19. Sitios de toma de muestras de suelo.	51
Figura 20. Monolito de suelo.	52
Figura 21. Extracción del monolito de suelo.	52
Figura 22. Muestra alterada de suelo para ensayo granulométrico.	53

Figura 23. Aparato de Casagrande.	54
Figura 24. Máquina de Corte Directo.	55
Figura 25. Caja de corte donde se ubica el espécimen de suelo.	56
Figura 26. Mapa hidrográfico de la zona de estudio.	60
Figura 27. Importancia relativa de la erosión bajo condiciones de precipitación y temperatura.	62
Figura 28. Importancia de la meteorización bajo condiciones de precipitación y temperatura.	63
Figura 29. Foto satelital de la zona de la vía.	64
Figura 30. Mapa de capacidad del suelo.	67
Figura 31. Modelo de la geología de la zona en el SIG.	78
Figura 32. Modelo hidrológico de la zona en el SIG.	79
Figura 33. Mapa de Pendientes de la zona.	81
Figura 34. Uso actual del suelo de la zona.	82
Figura 35 Mapa de susceptibilidad de la zona de estudio.	84
Figura 36. Mapa de susceptibilidad clasificado en 5 clases.	86
Figura 37. Mapa de susceptibilidad y fenómenos de remoción de la zona .	89

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Escala de velocidad de remociones en masa.	44
Tabla 2. Tipos de suelo presentes en la zona de estudio.	45
Tabla 3. Descripción del perfil de meteorización.	45
Tabla 4. Inventario de deslizamientos al momento de la visita.	48
Tabla 5. Resultados ensayos de laboratorio.	56
Tabla 6. Descripción de pendientes	80
Tabla 7. Clasificación del mapa de susceptibilidad según el valor final de ponderación.	85
Tabla 8. Clasificación de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.	87

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro Fotográfico	93
Anexo B. Formatos de los Ensayos de Laboratorio	98
Anexo C. Registros Factores Ambientales	103

RESUMEN

TÍTULO:

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE INESTABILIDAD DEL TERRENO EN LA VÍA VÉLEZ – CHIPATÁ K0+000 – K8+000.

AUTOR:

ANDRADE CARREÑO, Camilo. **

PALABRAS CLAVES:

GEOTECNIA, ESTABILIDAD DE TALUDES, FENOMENOS DE REMOCION EN MASA, MÉTODO HEURÍSTICO, SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

DESCRIPCIÓN:

En nuestro país los fenómenos de remoción en masa tienen una alta probabilidad a generarse debido a variables como las elevadas pendientes de las montañas de la región Andina, el alto grado de erosión en ciertas zonas, la abundante precipitación en la temporada invernal que eleva los niveles freáticos hasta el nivel de la superficie, y principalmente la presencia de suelos con pobres características de resistencia.

La situación en Santander es preocupante ya que cada vez que regresa la temporada de lluvia los fenómenos han afectado de manera especial el estado de la red vial hasta dejar incomunicada a Bucaramanga con el resto del país.

Precisamente con el fin de aportar a la prevención de desastres en las vías de Santander y el resto de la región andina, se analizó el caso de inestabilidad del terreno en la vía Vélez – Chipatá, la cual hace parte de la fase 1 del nuevo Plan Vial Departamental consistente en mejorar las vías secundarias del departamento.

Al observar una serie de problemas geotécnicos se tomaron muestras inalteradas de suelo y se llevaron al laboratorio para el análisis de sus propiedades, donde luego con la aplicación de un método heurístico se llegó al fin de la investigación: evaluar la situación de inestabilidad del terreno en la vía Vélez – Chipatá.

* Proyecto de Grado Modalidad: Trabajo de investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil, Ing. Ms.c Hebenly Celis Leguízamo

ABSTRACT

TITLE:

PRELIMINARY ANALYSIS OF THE CURRENT INSTABILITY SITUATION OF THE TERRAIN IN THE VÉLEZ – CHIPATÁ ROAD, K0+000 – K8+000.*

AUTHOR:

ANDRADE CARREÑO, Camilo.**

KEYWORDS:

GEOTECHNIC, STABILITY OF SLOPES, MASS REMOVAL EVENTS, HEURISTIC METHOD, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS.

DESCRIPTION:

In Colombia mass removal events have a high probability to occur due to variables like the high slopes of the Andean region mountains, the high degree of erosion in certain areas, the plenty precipitation in winter season that raises the water table levels to surface, mainly soils with poor resistance characteristics.

The Santander department situation is worrying because every time the rain season starts these events have affected principally the condition of the road network to the point of leaving Bucaramanga secluded from the rest of the country.

Precisely with the purpose of contributing to disaster prevention on Santander roads and the rest of the Andean region, the instability in the Vélez - Chipatá road case was analyzed, which makes part of the phase one of the new departmental road plan which consists in improving the secondary roads of the department.

While observing several geotechnical problems in the road, unaltered samples of soil were taken and carried to laboratory for their analysis, and after the application of a heuristic method the aim of the investigation was achieved: Evaluating the instability situation of the terrain in the Vélez - Chipatá road.

* Proyecto de Grado Modalidad: Trabajo de investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil, Ing. Ms.c Hebenly Celis Leguízamo

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos veinte años el estudio de los fenómenos de remoción en masa ha cobrado mayor importancia dentro del entorno ingenieril puesto que han sido considerados como una de las amenazas naturales que generan mayores pérdidas tanto humanas como materiales en todo el planeta.

En Colombia estos fenómenos tienen una alta probabilidad de generarse debido a variables como las elevadas pendientes de las montañas de la región andina, el alto grado de erosión en ciertas zonas, la abundante precipitación en la temporada invernal que eleva los niveles freáticos hasta el nivel de la superficie, y la presencia de suelos con pobres características de resistencia en distintos puntos de la geografía nacional.

En Santander la situación es preocupante ya que cada vez que regresa la temporada de lluvia trae consigo desastres naturales donde predominan los fenómenos de remoción en masa, los cuales han afectado de manera especial la red vial hasta dejar incomunicada a Bucaramanga con el resto del país.

Precisamente con el fin de aportar a la prevención de desastres en geotecnia vial en Santander y el resto de la región andina, se analizó el caso de inestabilidad del terreno en la vía Vélez – Chipatá, la cual hace parte de la fase 1 del nuevo Plan Vial Departamental consistente en mejorar y pavimentar las vías secundarias del departamento.

Al observar una serie de problemas geológicos y geotécnicos se tomaron muestras inalteradas de suelo y se llevaron al laboratorio para el análisis de sus

propiedades, donde luego con la aplicación de un método heurístico se llegó al fin de la investigación: evaluar la situación de inestabilidad del terreno en la vía Vélez – Chipatá.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- EVALUAR LA SITUACIÓN DE INESTABILIDAD DEL TERRENO EN EL CORREDOR VIAL ENTRE VELEZ Y CHIPATÁ DEL K0+000 AL K8+000 EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- RECOPIRAR LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO REFERENTE A DESLIZAMIENTOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA, TOPOGRAFÍA, FACTORES AMBIENTALES, SISMOS, FACTORES ANTRÓPICOS, SUSCEPTIBILIDAD, AMENAZA Y ESTABILIDAD DE TALUDES.
- CARACTERIZAR LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO SEGÚN LOS PARÁMETROS ANTERIORES.
- REALIZAR LOS ENSAYOS DE LABORATORIO A LAS MUESTRAS INALTERADAS DE SUELO TOMADAS EN CAMPO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO.
- PRESENTAR LOS RESULTADOS DEL ANALISIS, REALIZADO DE ACUERDO A LA SITUACIÓN QUE INFLUYE EN LA INESTABILIDAD DE LA ZONA.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La vía que comunica a los municipios de Vélez y Chipatá presenta diversos fenómenos de remoción en masa por lo que el tránsito se ve interrumpido constantemente. Los trabajos de pavimentación, mejoramiento y mantenimiento que lleva a cabo la UNION TEMPORAL VIAL SANTANDER 067, integrado por las firmas de ingeniería DOBLE A INGENIERIA S.A. y PATRIA S.A. han sido afectados principalmente por los movimientos de reptación, flujos y hundimientos.

La causa principal de estos acontecimientos es el perfil de meteorización que se presenta en la zona. El terreno está compuesto por un suelo residual (limos y arcillas expansivas) asentado sobre una base de roca blanda (lutitas en su mayoría), que al saturarse de agua desencadena movimientos en masa generando la destrucción de la calzada y atrasos en las labores de pavimentación de la vía.

Esta situación ha llevado a los entes involucrados a realizar estudios geotécnicos con el fin de decidir qué sectores de kilometraje se pavimentarán primero, incluso se ha planteado dejar algunos sectores de la vía sin pavimento debido a los fenómenos de remoción en masa.

Al igual que allí, en muchos lugares de Colombia se presentan una serie de condiciones necesarias para la ocurrencia de estos fenómenos, como la abrupta topografía de las cordilleras, la constante actividad sísmica, los elevados registros de precipitación debido a su ubicación en la zona tropical del globo terrestre, la intervención de las montañas por medio de la explotación minera, y la adecuación de terrenos para la construcción de vivienda sin el cumplimiento de los mínimos

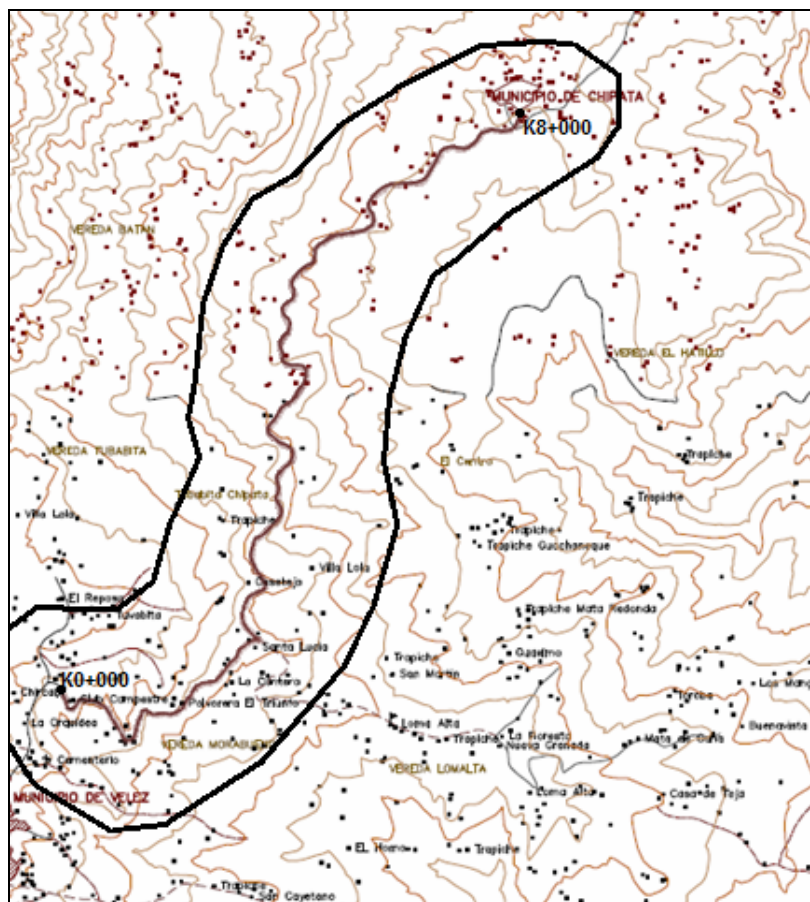
requisitos técnicos; los cuales deben ser estudiados como medida para la prevención de desastres al igual que en el presente trabajo.

2. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

El análisis se llevará a cabo a lo largo del eje de la vía que comunica a Vélez con Chipatá, incluyendo los terrenos aledaños donde se encuentran las laderas y los taludes en que se generan los fenómenos de remoción en masa en la zona de estudio.

El área comprendida consta de 16 km² aproximadamente.

Figura 1. Delimitación del estudio.



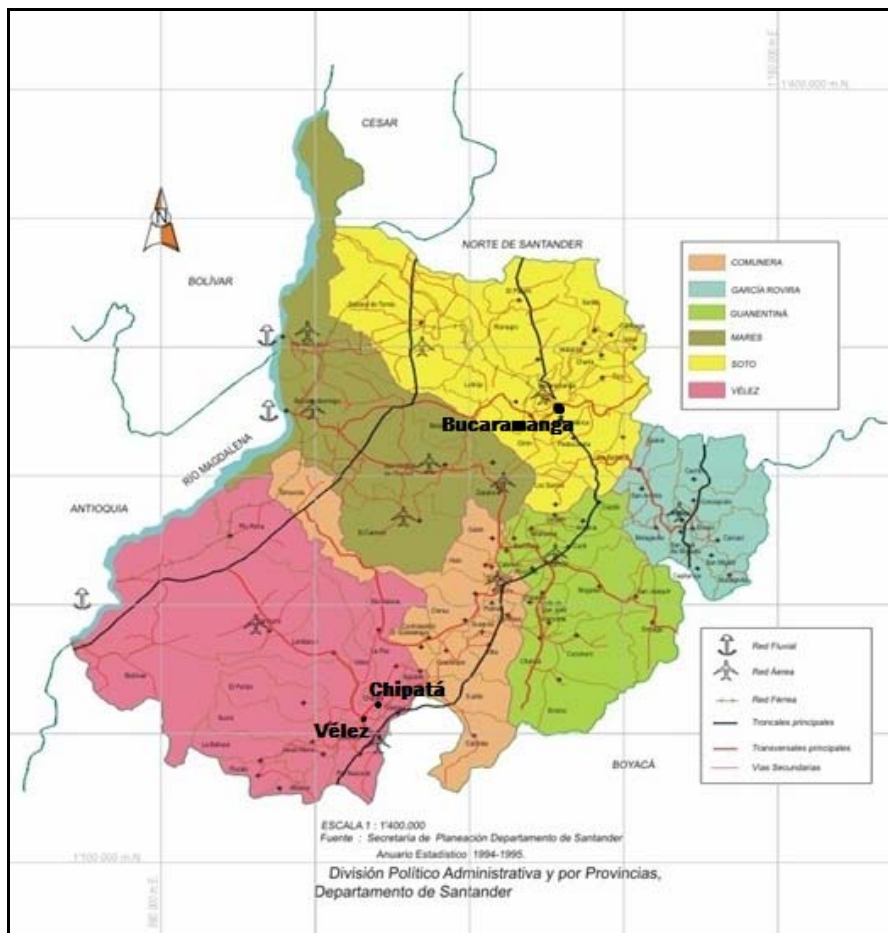
Fuente. IGAC, modificado por el autor

La zona de influencia del estudio comprende las localidades de Vélez y Chipatá, la carretera departamental de 8,0 km que las comunica y sus zonas aledañas, en la Provincia de Vélez al sur del departamento de Santander.

2.1. ACCESO

El Municipio de Vélez se encuentra localizado en el sur del Departamento de Santander, para llegar hasta allí desde Bucaramanga debemos tomar la vía a Bogotá hasta Barbosa, donde se desvía y se toma la Transversal del Carare hasta llegar a Vélez. En total son 235 Km aprox. desde Bucaramanga.

Figura 2. Departamento de Santander. División político administrativa por provincias.



Fuente. Secretaria de planeación, Departamento de Santander.
Anuario estadístico 1995.

2.2. VÉLEZ

Municipio del departamento de Santander, cuya cabecera dista 238 km de Bucaramanga y está situada a 2.150 m de altitud. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 06° 00' 48" N. Longitud: 73° 40' 22" O. Su población fue censada en 2005 en 19.393 habitantes.

En su territorio se distinguen dos regiones fisiográficas: al oeste se extiende la zona del Carare, perteneciente al valle del río Magdalena; al este, el área montañosa, cuyo relieve forma parte de la cordillera Oriental, en la cual se destaca la peña de Vélez. Posee una temperatura media anual de 17 °C y un promedio anual de precipitación de 2.168 mm.

Por sus tierras pasan los ríos Magdalena, Carare, Guayabito y Opón, las principales actividades económicas son la agricultura, ganadería y minería. Sus dulces y conservas son famosos igual que su Festival de la Guabina y el Tiple.

Figura 3. Cabecera municipal de Vélez.



Fuente. <http://fotopaises.com/>

2.3. CHIPATÁ

Municipio del Departamento de Santander, en la Provincia de Vélez. Su cabecera municipal está situada a una altitud de 1.600 m. Su única vía de comunicación con

el resto del departamento es la carretera que conduce desde Vélez. Sus coordenadas geográficas son: Latitud: 06° 03' 32" N. Longitud: 73° 37' 59" O.

Se divide en 12 veredas entre las cuales están: El Papayo, Mulatal, Batán, Tubavita, Llano de San Juan, Tierra Negra, El Hatillo, Salitre Seco, Mirabuenos, Centro, Toroba, San Miguel.

Su población fue censada en 2005 en 5.125 habitantes.

Figura 4. Cabecera municipal de Chipatá.



Fuente. <http://tecnogyrs-3.blogspot.com/>

3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El primer paso para llevar a cabo el estudio sobre la inestabilidad del terreno es recopilar la información existente relevante al proyecto. En caso de no haberla se debe generar ya que de esta manera se logra la actualización de los datos de la zona.

En un estudio detallado como es el caso de esta investigación, es normal que no existan o se encuentren pocos informes y estudios previos sobre la zona de influencia del proyecto.

Los siguientes son los campos de estudio de las variables indispensables para la elaboración de la caracterización:

3.1. GEOLOGÍA

La geología estudia los materiales que componen nuestro planeta, exactamente su estructura y los procesos que actúan permanentemente sobre estos.

Un análisis geotécnico requiere conocimientos fundamentales en el área de geología por tratarse del estudio de eventos de origen natural asociados a los materiales que conforman la corteza terrestre. Desde una de las primeras etapas de esta investigación - el análisis del subsuelo de la zona - se tendrán en cuenta conceptos de distintas ramas de la geología.

La Estratigrafía sirve como herramienta en el análisis e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas en la zona de estudio; siendo los pasos a seguir la

identificación, descripción, secuencia, representación cartográfica y correlación de las unidades litoestratigráficas de las rocas.

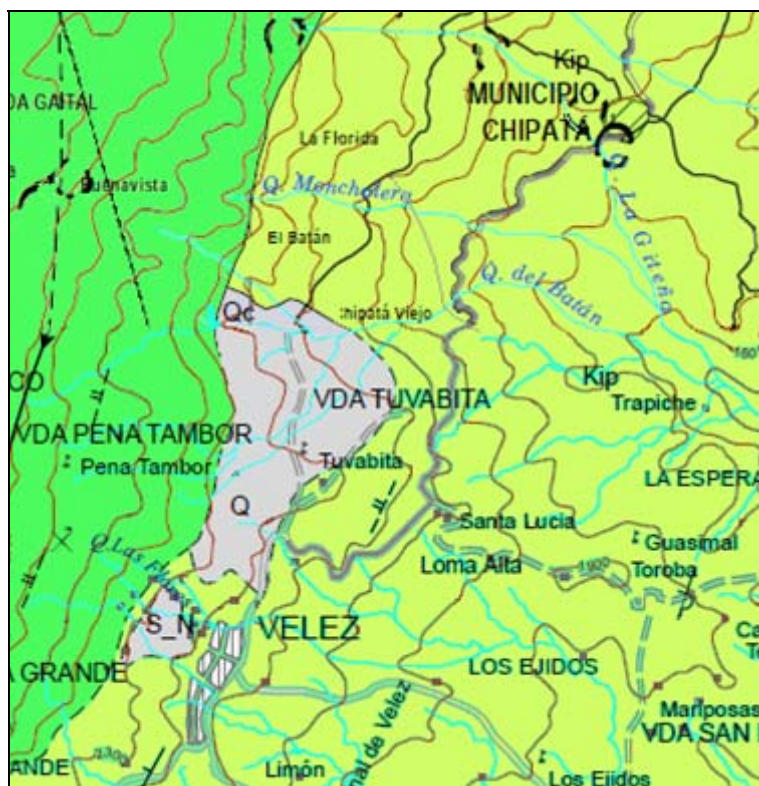
La principal unidad litoestratigráfica es la formación geológica, la cual define las zonas homogéneas de las rocas, es decir que comparten las mismas propiedades litológicas: composición y estructura. Dependiendo de la formación geológica de la zona de estudio se puede inferir si esta es más propensa o no a los fenómenos de remoción en masa.

La Geomorfología es una rama de la geología, se encarga del estudio de las formas del relieve, pero dado que estas son el resultado de procesos dinámicos de la litosfera, se integran en esta rama conocimientos de otras tales como la climatología y la hidrografía, y por otro lado también integra conceptos de otras ciencias para abarcar la incidencia de fenómenos biológicos y antrópicos en el relieve.

Para este proyecto debido a las condiciones específicas de la zona la geomorfología tiene un alto grado de importancia, por lo que se considerará más adelante en el análisis de las variables como una rama independiente.

En la figura 5 se observa el mapa geológico de la zona de estudio.

Figura 5. Mapa geológico de la zona de estudio.



Fuente. INGEOMINAS Tomado de la plancha 170, (Vélez)

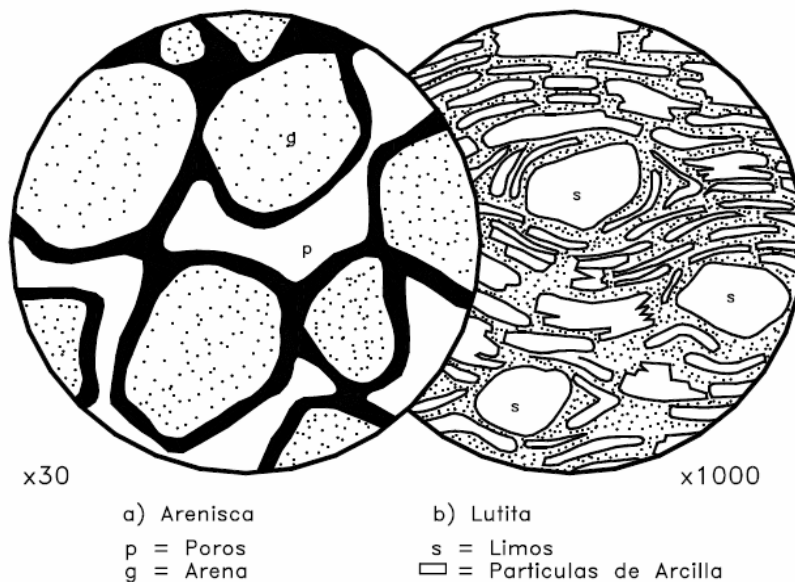
Modificado por el autor

- El color amarillo representa la Formación Paja.
- El color verde representa la Formación Tablazo.
- El color rosado es una zona de coluvión.

En el municipio de Vélez afloran únicamente rocas sedimentarias cuyas edades abarcan desde el Jurásico al Reciente, y la nomenclatura estratigráfica utilizada ha sido la empleada en las áreas de Santander-Arcabuco.

Las dos formaciones principales que se presentan en la zona de estudio son en su orden de importancia, la Formación Paja y la Formación Tablazo. Ambas están conformadas por rocas sedimentarias como arcillolitas, limolitas, y calizas.

Figura 6. Geología de la zona - Vista microscópica.



Fuente. Estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suárez.
(Blyth y de Freitas, 1984)

3.1.1. Formación Paja (Kip).¹

El nombre fue dado por Wheeler, O. (Informe inédito), según Morales, L. (1958, p 648), teniendo como localidad tipo la quebrada La Paja, afluente del río Sogamoso (JULIVERT, et al., 1968).

La Formación Paja aflora en el flanco occidental del Anticlinal de Tinjacá – Oiba, donde se presenta en contacto concordante con la Formación Ritoque; en el flanco oriental del Anticlinal de la Pradera y en el flanco occidental del Anticlinal de Portones, áreas en las cuales se observó concordante con la Formación Rosablanca.

¹ INGEOMINAS - *Reseña explicativa del Mapa geológico preliminar Plancha 170 Vélez.*

Consta en su base de lutitas y limolitas grises oscuras a negras, ferruginosas con delgadas intercalaciones de areniscas arcillosas; su parte media la compone una sucesión de lutitas grises, con intercalaciones de areniscas, arcillolitas calcáreas y calizas, con concreciones limolíticas, piritosas, hasta de 10 cm de diámetro y niveles de yeso, y la parte superior está formada por lutitas grises clara a oscuras, micáceas, interestratificadas con areniscas arcillosas, de grano fino, en estratos hasta de 5 m de espesor. Para esta unidad se le ha estimado un espesor de 740 m basado en cortes geológicos realizados en la zona.

Un estudio detallado de esta unidad ha sido realizado por Etayo, F. (1968, p 18-30) en el área de Villa de Leiva – Sáchica, quien le asigna una edad que abarca desde el Hauteriviano al Aptiano superior; y considera su depósito en un ambiente marino de aguas poco profundas y circulación restringida. Su correlación puede establecerse con la parte inferior a media del Tibú – Mercedes, Tibabosa, Arenisca de Las Juntas y parte inferior del Fómeque.

Figura 7. Morfología laminar de la formación Paja presente en la vía.



Fuente. Fotografía elaboración propia

3.1.2. Formación Tablazo (San Gil inferior) (Kit).²

Al igual que en la Formación Paja, el nombre de la Formación Tablazo fue dado por Wheeler, O. (Informe Inédito), según Morales, L. et al (1958, p. 651), teniendo como sección tipo la cúspide de los primeros cerros al Este de la población de El Tablazo.

La Formación Tablazo, en el área de estudio se presenta concordantemente a los estratos de la Formación Paja, y se caracteriza por presentar una tipografía escarpada.

La formación consta de una alternancia de areniscas arcillosas, de grano fino, moscovíticas, estratificadas en bancos hasta 1 m de espesor; calizas grises oscuras a negras, con intercalaciones de limolitas grises claras; se le midió un espesor de 287 m.

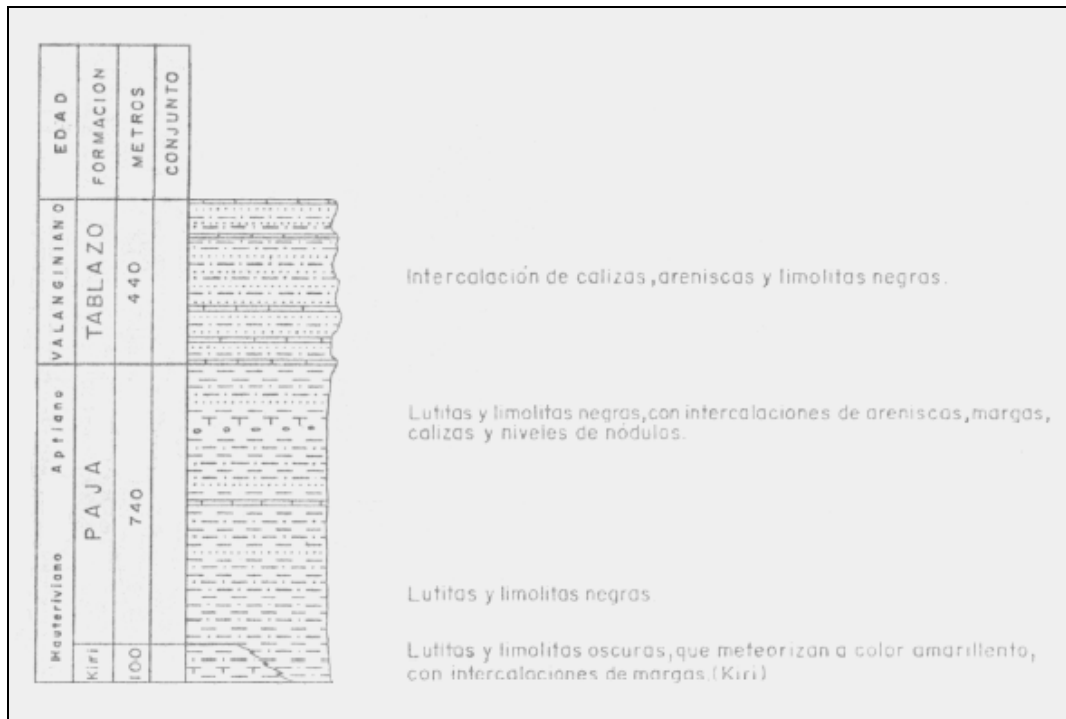
La edad de la Formación Tablazo es considerada por Morales, L. (1958, p. 651)(en JULIVERT, M., 1968, p. 515) como Aptiano superior a Albiano inferior, basado en su posición estratigráfica entre las formaciones Paja y Simití. Etayo, F. (1968), con base en la fauna colectada en el área de Sábanachica – Puente Samacá, considera la Formación San Gil inferior como Aptiano superior Albiano.

La Formación Tablazo se depositó en un ambiente marino de poca profundidad, cercano a la costa; es sinónima de la Formación San Gil inferior (HUBACH, E., 1957) y se correlaciona con la parte inferior de la Formación Fόμεque y media del Tibú – Mercedes.

² INGEOMINAS - Reseña explicativa del Mapa geológico preliminar Plancha 170 Vélez.

En la figura 8 se muestra la columna estratigráfica que incluye las dos formaciones presentes en la zona.

Figura 8. Estratificación de las formaciones geológicas presentes.



Fuente. Informe técnico IGAC, modificado por el autor

3.1.3. Depósitos del Cuaternario (*coluviones*)

En la región estudiada se encuentran depósitos de derrubio que han sido delimitados en el trabajo realizado por el INGEOMINAS en el informe de la Plancha 170 que comprende la región de Vélez.

Estos depósitos están compuestos por material heterogéneo, es decir material meteorizado acompañado de parcialmente meteorizado y fresco, su composición y coloración varían de acuerdo a la unidad (Paja o Tablazo) de donde provienen.

Están constituidos por acumulaciones de material fino y grueso debido a la acción de la gravedad, se componen generalmente de bloques subangulares y angulares dentro de materiales lodosos, arcillosos y arenosos con muy mala gradación, presentando una disposición amorfa que incluye en ocasiones restos de escombros.

Al haberse generado en el Cuaternario los componentes no han sufrido diagenesis por lo que se disgregan fácilmente, desarrollando movimientos de remoción en masa en los escarpes de terraza.

La densidad de los bloques y la presencia de matriz varía frecuentemente dentro de los depósitos.

La fuente principal de materiales en su mayoría son calizas de la base de la Formación Tablazo, y algunos niveles duros de calizas o areniscas de la Formación Paja. El espesor de los depósitos es pequeño y varía de 1 a 5 m, aproximadamente.

3.2. TOPOGRAFÍA

La topografía representa el relieve de la zona mediante la utilización de curvas de nivel en planos topográficos. Es una herramienta indispensable en esta clase de estudio ya que nos describe los cambios en la superficie del terreno y llega a ser una variable determinante en el análisis de los fenómenos de remoción en masa debido a los elevados valores de las pendientes y alturas de los taludes.

Para el presente caso se identificaron los puntos críticos de la zona estudiada, la cual presenta un relieve de media montaña perteneciente a la cordillera oriental, con una pendiente promedio de 19°, entre las cotas 1600 y 2300 m.s.n.m.

La cabecera de Vélez tiene una cota mayor que la de Chipatá, es decir iremos en descenso avanzando hacia Chipatá. La pendiente de la vía es relativamente constante durante todo el trayecto porque la vía se encuentra bordeando la montaña.

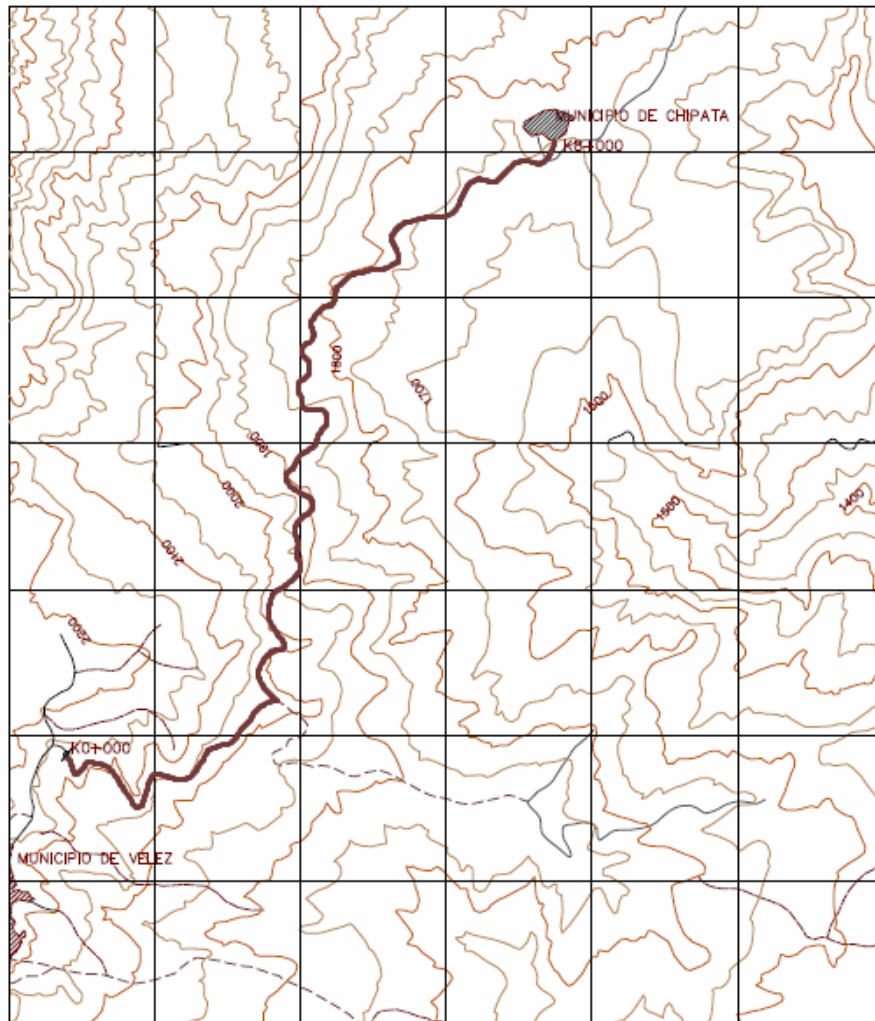
En el K0+000 se observan laderas de 5 metros de altura o menores, siendo siempre de mayor valor las alturas de los taludes inferiores, siendo esto constante hasta el K3+000.

Del K3+000 al K5+000 se encuentran las mayores pendientes del terreno y por tanto son los lugares donde se presentan las caídas (desprendimientos) de detritos y de suelos.

Después del K5+000 el terreno se torna prácticamente llano hasta llegar a Chipatá, por lo que incide en la desaparición de los fenómenos de remoción en masa en ese sector de la vía.

En la figura 9 se observa la vía en el mapa topográfico de la zona.

Figura 9. Mapa topográfico de la zona de estudio.



Fuente. IGAC, modificado por el autor

3.3. GEOTECNIA

La geotecnia es el área de la ingeniería civil que estudia el comportamiento de los suelos para la ejecución de una obra civil o la prevención de un desastre. Su objetivo es proporcionar seguridad para el uso de determinada obra, garantizando una adecuada vida útil y teniendo en cuenta la viabilidad económica del proyecto.

Uno de los objetivos de la geotecnia en nuestro país es mejorar el conocimiento y la prevención de deslizamientos y demás procesos de inestabilidad del terreno en la Zona Tropical Andina, el cual es afectado constantemente por este tipo de fenómenos no sólo en razón de las características geológicas, topográficas, climáticas y sísmicas adversas, sino también como consecuencia de las condiciones socio-económicas y culturales particulares de la región³.

3.3.1. Clasificación de los fenómenos de remoción en masa.

Los movimientos de remoción en masa se definen como el desplazamiento ladera abajo de un cuerpo compuesto por rocas, detritos, suelos o materiales artificiales. Numerosos autores han planteado diversas maneras de clasificarlos entre los que se encuentran Sharpe (1938), Varnes (1958, 1978), Hutchinson (1988), EPOCH (1993), Cruden&Varnes (1994)⁴. Para el análisis de la inestabilidad de la zona es necesario clasificarlos y definirlos estableciendo una terminología unificada.

Para el desarrollo de este trabajo seguimos la clasificación de VARNES (2000). Dentro de la cual tenemos los siguientes movimientos:

3.3.1.1. Caídas.

Consiste en la disgregación rápida de un volumen de material litológico a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco desplazamiento cortante. Se presenta generalmente en zonas de alta pendiente, por ende la gravedad es el principal agente generador del movimiento.

³SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA. Comité suramericano de movimientos en masa. [En línea]. <<http://www.scg.org.co/?p=61>>

⁴ GUÍA TÉCNICA PARA LA ZONIFICACION DE LA SUSCEPTIBILIDAD. Germán Vargas Cuervo.

Las caídas, desprendimientos, o desplomes son generados por procesos similares, siendo distinguidos solamente por la magnitud del fenómeno.

Las caídas son generalmente movimientos intermitentes en caída libre, asociados a escarpes de rocas duras y fracturadas, el volumen de material afectado es generalmente bajo y representa fragmentos independientes (cantos a bloques).

En los desprendimientos se produce una disgregación de masa litológica ya sea de suelo o roca fracturada o descompuesta y existe un descenso súbito con fragmentación de material a lo largo de una ladera de fuerte pendiente.

Los desplomes presentan una disgregación de masa litológica generalmente rocosa y de volumen considerable por lo que forma en la base o pie, un depósito caótico de material grueso.

Este tipo de movimiento se distingue por la presencia de depósitos en la base de los escarpes, taludes o laderas.

En la zona de estudio se presenta este tipo de fenómeno, como desprendimientos, principalmente en el trayecto entre el K3+000 y el K5+000 debido a la inclinación de las pendientes del sector.

Figura 10. Desprendimiento en la vía Vélez – Chipatá.



Fuente. Fotografía elaboración propia

3.3.1.2. Flujos. Son movimientos de material litológico de textura fina y gruesa que se desplaza a lo largo de una superficie de falla bien definida. Los flujos comúnmente se caracterizan por movimientos rápidos y compuestos por lodos, sin embargo pueden ser lentos y compuestos por rocas y suelos no saturados. En general presentan superficies de ruptura planas a lo largo de una discontinuidad litológica, determinada por el contacto suelo – roca, o roca meteorizada – roca fresca, dejando superficies pulidas y estriadas.

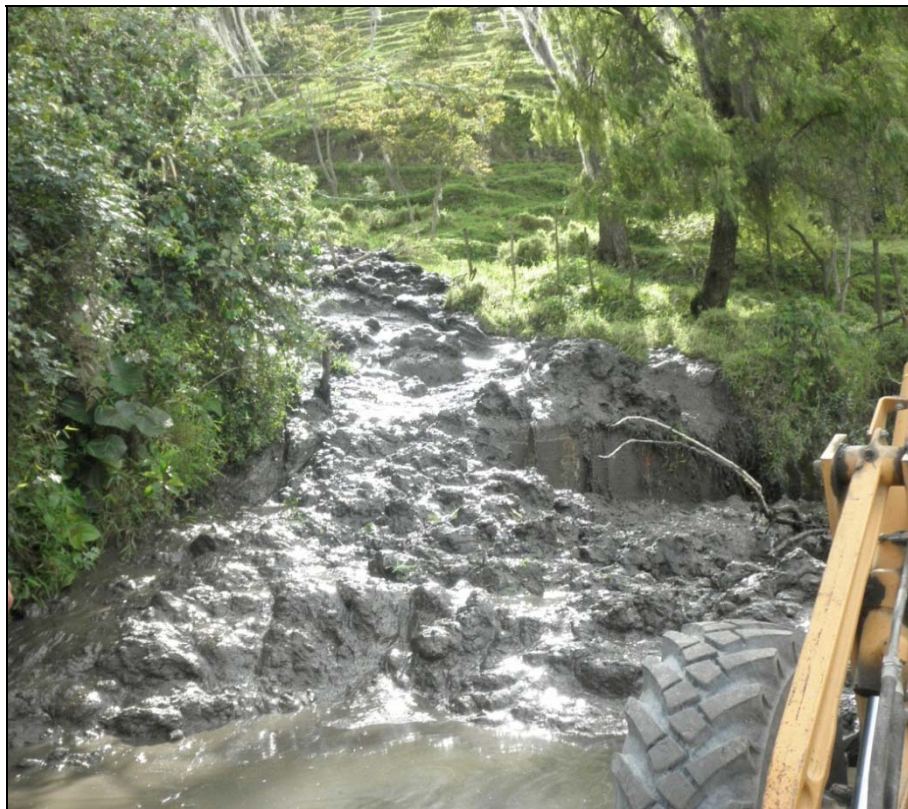
Los flujos también se caracterizan por su forma alargada y estrecha desde su corona hasta el pie, en donde se expande en abanicos con formas lobuladas interiormente.

Los flujos se clasifican por el material litológico involucrado en el movimiento como: flujos de lodo, de tierra, y de detritos.

3.3.1.2.1. Flujos de lodo. Son flujos en los cuales los materiales de suelo son muy finos y las humedades muy altas pudiéndose hablar de materiales viscosos donde el suelo se suspende en agua. Los flujos de lodo poseen fuerzas destructoras grandes que dependen de su caudal y velocidad.

En la vía se presencié este fenómeno en el K4+200. Ver figura 11.

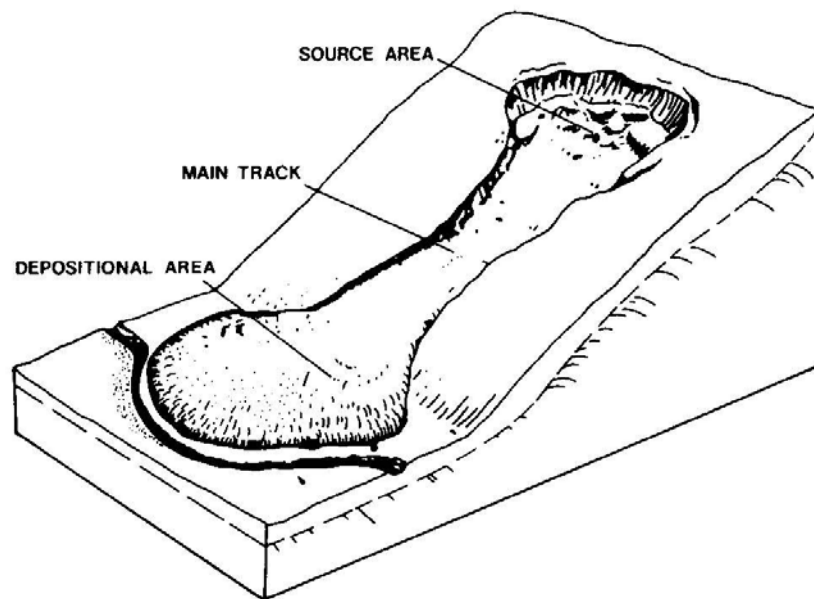
Figura 11. Flujo de lodos en la vía Vélez-Chipatá.



Fuente. Fotografía elaboración propia

3.3.1.2.2. Flujos de tierra. Este movimiento se genera cuando la porción de terreno cae ladera abajo a causa de la gravedad en un flujo continuo y corto. Usualmente ocurre en suelos arcillosos y arenas. Es el tipo más lento y seco entre los flujos.

Figura 12. Flujo de tierra.



Fuente. <http://geodynamo.files.wordpress.com>

En el K1+100 de la vía se presenció este fenómeno.

3.3.1.2.3. Flujos de detritos. Se tratan de flujos densos con un comportamiento plástico en donde la mezcla sedimento-agua se mueve como una sola fase. Los depósitos dejados por este tipo de movimiento se caracterizan por formar conos de detritos, donde los clastos de mayor tamaño se encuentran en la parte más alta del depósito. Otro rasgo distintivo es su alta deformación interna durante el movimiento.

3.3.1.3. Reptación. Es un movimiento superficial lento y continuo de materiales de baja cohesión, afectado especialmente por la presencia de agua en el suelo. Este movimiento no presenta superficie de ruptura pero sobre el terreno se desarrollan irregularidades que permiten su detección.

Figura 13. Fenómeno de Reptación en la vía.



Fuente. Fotografía elaboración propia

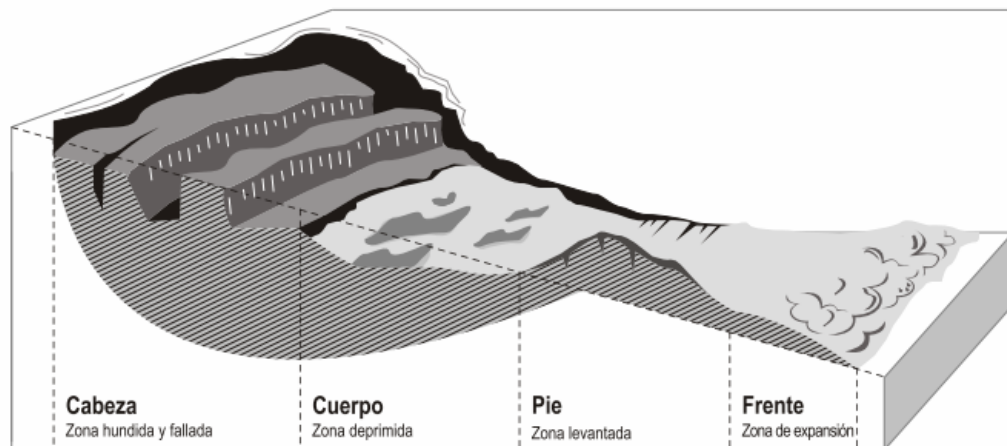
Las evidencias de reptación consisten en la inclinación de postes y cercas, y la inclinación o curvatura de los troncos de los árboles y arbustos. Ver figura 13.

Es el fenómeno de remoción en masa con mayor presencia en la zona. Este movimiento ha averiado lenta pero severamente las estructuras de contención y la calzada en algunos sectores de la vía.

3.3.1.4. Deslizamientos. Los fenómenos de remoción de este tipo se dividen en dos grupos:

3.3.1.4.1. Rotacional. Este tipo de deslizamiento se caracteriza por tener una superficie de falla de forma curva. Posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento. El movimiento produce un área de hundimiento en la parte superior y otra inferior de deslizamiento.

Figura 14. Geomorfología de un deslizamiento de forma rotacional.



Fuente. Deslizamientos en zonas tropicales, Jaime Suarez. (Millies – Lacrois, 1981)

Un deslizamiento rotacional presenta cuatro zonas morfológicas principales: cabeza, cuerpo, pie y frente.

La cabeza comprende la parte superior del movimiento, está caracterizada por presentar una morfología irregular de escarpes y contraescarpes, con cimas generalmente planas, y una disposición escalonada.

El cuerpo es la parte intermedia del movimiento en masa, se caracteriza por desarrollar una morfología en forma de depresión o cuneta, en donde se deposita la mayor parte del volumen de material desplazado.

El pie representa el sitio donde termina la pendiente predominante del talud o ladera en la parte inferior.

El frente constituye el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

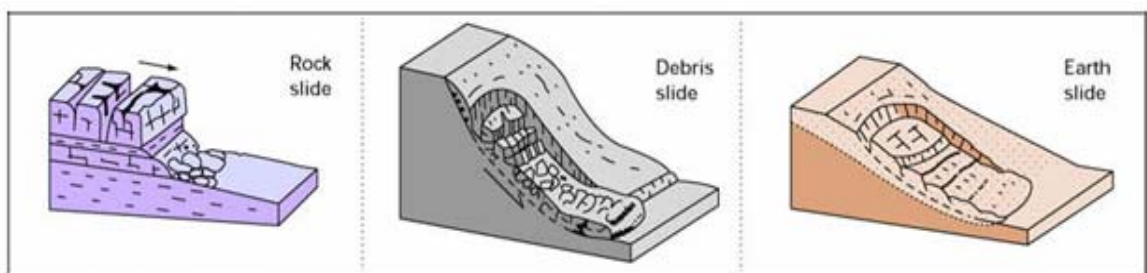
La ocurrencia de este tipo de deslizamiento es muy escasa en la zona de estudio.

3.3.1.4.2. Traslacional. Su proceso de falla y su morfología es similar al deslizamiento rotacional pero formando una superficie de falla recta. En suelos residuales las diferencias en la meteorización de los horizontes propician la presencia de los deslizamientos de traslación.

Ocasionalmente el movimiento desencadena el fenómeno de hundimiento, este se caracteriza por desplazamientos sub-verticales, lentos y progresivos del terreno.

A diferencia de otros movimientos, los hundimientos no tienen lugar a lo largo de una superficie libre, sino que se dan por el asentamiento del suelo hacia abajo.

Figura 15. Tipos de Deslizamiento Traslacional.

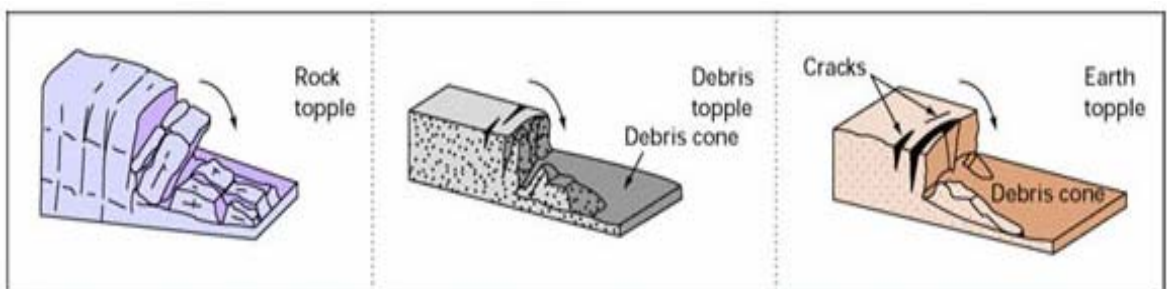


Fuente. British Geological Survey. 2011, modificado por el autor

Este fenómeno se observa en repetidas ocasiones en el recorrido de la vía.

3.3.1.5. Volcamiento. Son movimientos que se generan sobre una ladera o talud debido al colapso del material rocoso por una heterogeneidad litológica y estructural. El movimiento se produce por acción de la gravedad y por rotación hacia delante de un material rocoso, ya sea una capa litológica o un paquete de rocas estratificadas, alrededor de un punto de giro localizado en la parte inferior del talud.

Figura 16. Tipos de Volcamiento.



Fuente. British Geological Survey. 2011, modificado por el autor

Este fenómeno no se presentó en la zona de estudio.

3.3.1.6. Movimientos complejos. Un movimiento en masa complejo se presenta cuando ocurren y se combinan dos o más movimientos en masa, donde además se presentan diferentes mecanismos de ruptura o falla.

Los fenómenos presentan diversas tasas de movimientos, que van desde extremadamente rápidos a extremadamente lentos. Como una manera de clasificarlos según su velocidad, Cruden & Varnes (1996) asocian valores de tasa de movimiento con términos cualitativos de rapidez (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de velocidad de remociones en masa.

Clase según velocidad	Descripción	Velocidad[m/s]	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido	5	5 m/s
6	Muy rápido	0,05	3 m/min
5	Rápido	5×10^{-4}	1,8 m/hr
4	Moderado	5×10^{-6}	13m/mes
3	Lento	5×10^{-8}	1,6m/año
2	Muy lento	5×10^{-10}	16mm/año
1	Extremadamente lento	$< 5 \times 10^{-10}$	<16mm/año

Fuente. (Cruden & Varnes, 1996) Tomado de Lara y Sepúlveda, 2008.

Debido a las pobres condiciones geotécnicas de la formación geológica y los suelos presentes en toda la zona de estudio, se generan una cantidad considerable de fenómenos de remoción en masa a lo largo del corredor vial Vélez – Chipatá.

El problema de los suelos del lugar es su composición mayoritaria de arcillas altamente plásticas, ya que el agua envuelve las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas⁵.

En conclusión la elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia de su morfología laminar, su tamaño de partícula extremadamente pequeño, y una alta capacidad de hinchamiento.

⁵LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS, Emilia García Romero, Universidad Complutense de Madrid. Mercedes Suárez Barrios, Universidad de Salamanca.

Según el estudio de Álvarez y Bueno en 1994, los tipos de suelos presentes en la zona son:

Tabla 2. Tipos de suelo presentes en la zona de estudio.

Tipo de suelo	Porcentaje (%)
MH	31,5
MH – CH	22,5
CH	18,0
ML	15,5
OH	12,5

Fuente. Álvarez y Bueno. 1994.

En su mayoría los suelos de la zona son suelos limosos y arcillosos, residuales, de poco espesor (0,80 m - 2,00m), los cuales están asentados sobre roca meteorizada (lutita, arcillolita, limolita).

A continuación en la Tabla 3 se describe un perfil típico de meteorización.

Tabla 3. Descripción del perfil de meteorización.

	DEERE PATTON	CARACTERISTICAS	DESCRIPCION
SUELO	IA IB	TEXTURA ORIGINAL	SUELO RESIDUAL (SR) Suelo sin estructuras heredadas, disminuye densidad con mayor fracción arcillosa. Rico en caolinita, goetta, gibsita
	IC	NUCLEOS	ROCA COMPLETAMENTE METEORIZADA O SAPROLITO FINO (RCM): Suelo con estructuras heredadas. Disminución de la fracción arcillosa. Ocasionalmente hay fragmentos de núcleos y aun esporádicamente se encuentran completos.

	DEERE PATTON	CARACTERISTICAS	DESCRIPCION
SUELO Y ROCA	IIA	ROCA B/ SUELO	ROCA ALTAMENTE METEORIZADA O SAPROLITO GRUESO (RAM): La fracción de suelo aumenta en proporción de lino y arena. En la fracción de núcleos de roca se observa material parcialmente friable (rompe fácilmente con el martillo). Abundan fragmentos con óxidos.
	IIB	SUELO	ROCA MODERAMENTE METEORIZADA (RMM): La fracción suelo disminuye en forma gradual hasta desaparecer. La roca no es friable pero se observa decolorada. Disminuyen gradualmente superficies de oxidación. La roca es más resistente, pero menos que la roca fresca o la roca débilmente meteorizada. Grados I-II.
ROCA	III	DECOLORACION	ROCA DEBILMENTE METEORIZADA (RDM) La roca se observa sana y solo se aprecia meteorización penetrativa en las discontinuidades donde puede estar decolorada. Al igual se observa roca normalmente fresca con apariencia cristalina. Bloques aislados entre franjas de roca descompuesta.
	III		ROCA FRESCA (RF) No hay decoloración la roca presenta apariencia brillante y algunas veces se observan superficies manchadas por oxidación superficial. El agua puede penetrar a través de las discontinuidades abiertas

Fuente: Montero, 1986; en Álvarez y Bueno, 1994

La ausencia de algunas capas en el perfil de la zona de estudio contribuye a la generación de fenómenos por el contacto directo entre suelo y roca débilmente meteorizada.

Siendo detonados por la precipitación excesiva en los meses propios de la temporada invernal (Marzo – Mayo, Septiembre – Noviembre).

Figura 17. Fenómeno de Reptación en la vía.



Fuente. Fotografía elaboración propia

También se observan fenómenos de hundimiento del pavimento en varios puntos de la vía. Estos se deben principalmente a asentamientos del terreno generados por deslizamientos traslacionales de poco volumen.

Aunque en una menor proporción también se presentan Flujos de suelo y Flujos de lodo, dependiendo de la saturación del terreno involucrado.

3.3.2. Inventario de fenómenos de remoción en masa ocurridos en la vía

Al momento de la visita estos fenómenos fueron evidenciados en la zona desde diferentes grados de actividad, desde los que han destruido viviendas e

infraestructura vial hasta aquellos en los que la amenaza ha sido identificada por medio de estudios geotécnicos.

Tabla 4. Inventario de deslizamientos al momento de la visita.

Kilómetro	Tipo	Observaciones
K0+040	Reptación	Troncos de árboles inclinados. Caída de Gavión.
K0+200	Reptación	Troncos inclinados. Terreno ondulado.
K0+500	Deslizamiento traslacional	Superficie de falla visible. Acumulación de material en el pie de la ladera.
K0+700 - K0+900	Caída de suelo	Acumulación de material en el pie de la ladera.
K1+100	Flujo de tierra	Una porción de suelo saturado comenzó a fluir a causa de agua subsuperficial.
K1+200 - K1+600	Reptación	El tramo presenta señales de movimiento lento del terreno. Casas y pavimento agrietados.
K1+700	Caída de detritos y suelo	Caída del material del pavimento. Caída de la banca.
K2+340	Caída de detritos y suelo	Acumulación de material en el pie de la ladera y en la vía.
K2+450	Deslizamiento traslacional	Caída del material del pavimento. Caída de la banca.
K2+500	Reptación	Terreno ondulado. Troncos de árboles inclinados.
K2+520	Deslizamiento	Superficie de falla visible.

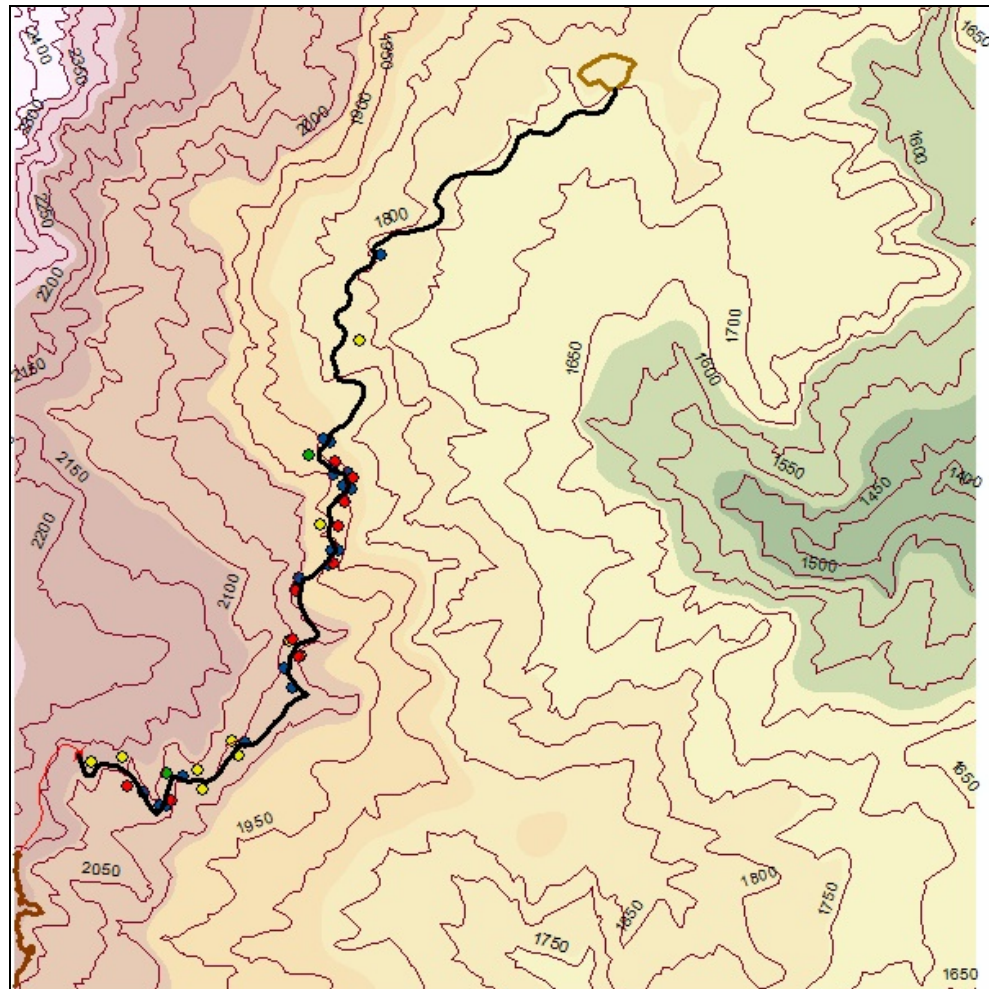
Kilómetro	Tipo	Observaciones
	traslacional	Acumulación de material en el pie de la ladera.
K3+100 - K3+400	Caída de detritos y suelo	Caída del material del talud. Acumulación de detritos.
K3+400 - K3+600	Deslizamiento traslacional	Superficie de falla visible. Acumulación de suelo y vegetación en el pie de la ladera.
K3+600	Reptación	Terreno ondulado. Troncos de árboles inclinados.
K4+075 - K4+100	Caída de detritos y suelo	Caída de suelo ladera abajo a causa de la elevada pendiente
K4+200	Flujo de lodos	Una gran cantidad de lodo bajó desde la parte alta de la colina.
K4+400	Caída de detritos y suelo	Se presentó caída de detritos y suelo. Acumulación en el pie.
K5+300	Reptación	Terreno ondulado. Troncos de árboles inclinados.
K6+200	Caída de detritos y suelo	Caída ladera abajo de suelo. Caída leve de material de la banca.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 18 se representan los fenómenos en el mapa de la zona:

- Los puntos de color azul indican los lugares donde ocurrieron caídas.
- Los puntos de color rojo indican los lugares donde ocurrieron deslizamientos.
- Los puntos de color amarillo indican los lugares donde ocurrieron los fenómenos de reptación.
- Los puntos de color verde indican los lugares donde ocurrieron los flujos.

Figura 18. Mapa de fenómenos de remoción en la vía.



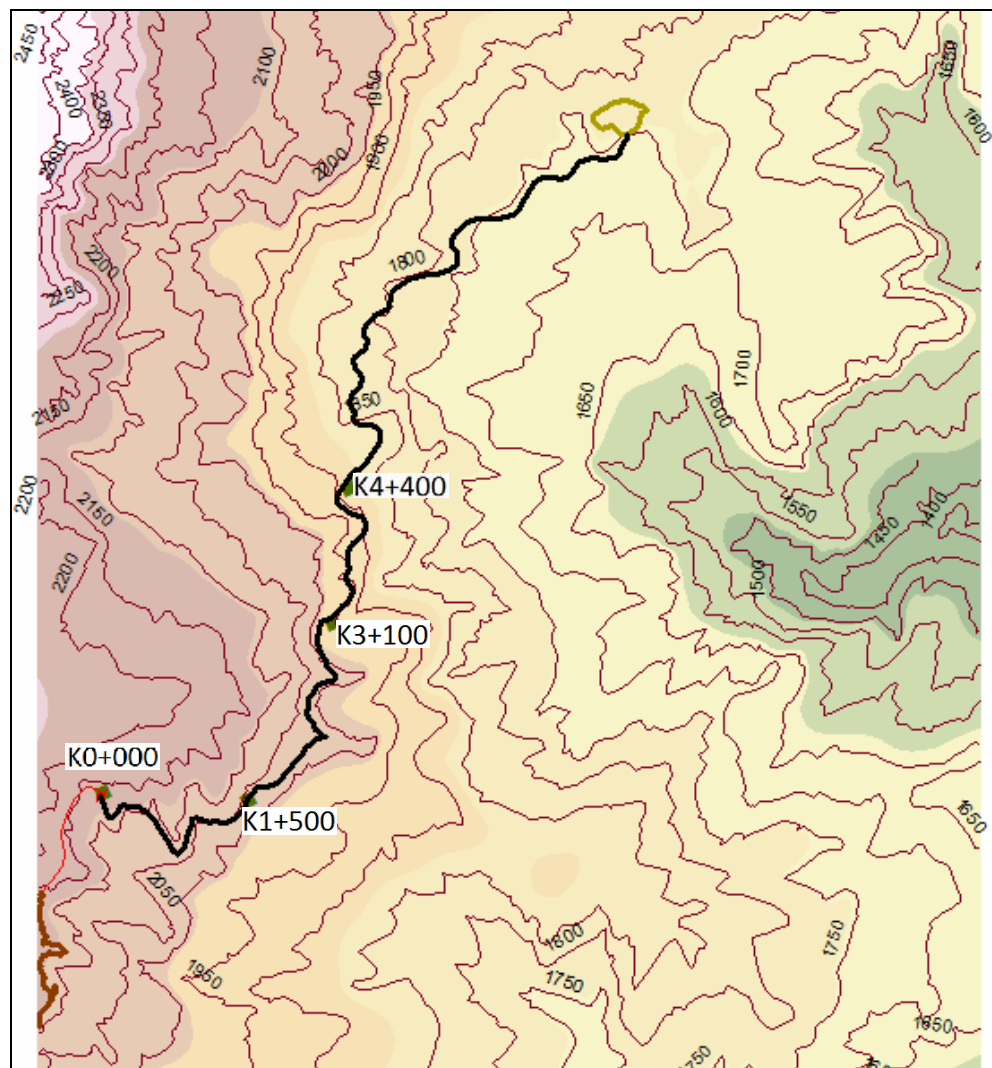
Fuente. Elaboración propia en ArcGis

3.3.3. Ensayos De Laboratorio

Para determinar las propiedades mecánicas del suelo se tomaron 4 muestras inalteradas de suelo en diferentes puntos del recorrido de la vía. Es decir que por cada 2 kilómetros de vía se tomó 1 muestra para tener suficiente información de la zona de estudio.

Los lugares de extracción de las muestras fueron escogidos debido a la presencia de uno o varios fenómenos de remoción en masa en la cercanía.

Figura 19. Sitios de toma de muestras de suelo.



Fuente. Elaboración propia en ArcGis

En las siguientes figuras se observa el procedimiento de toma de las muestras inalteradas de suelo.

Figura 20. Monolito de suelo.



Fuente. Fotografía elaboración propia

Figura 21. Extracción del monolito de suelo.



Fuente. Fotografía elaboración propia

Posteriormente se llevaron las muestras hasta el laboratorio de caracterización de materiales de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, y se realizaron los ensayos de granulometría, límites de Atterberg y corte directo. Para llevar a cabo estos ensayos se siguió la Norma INVIAS correspondiente.* nota al pie Norma INVIAS 123, 125, 126, 154.

3.3.3.1. Granulometría. La caracterización del suelo de la zona es necesaria con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, por lo que se realiza el cálculo de los porcentajes de los distintos tamaños de grano que lo conforman.

Figura 22. Muestra alterada de suelo para ensayo granulométrico.



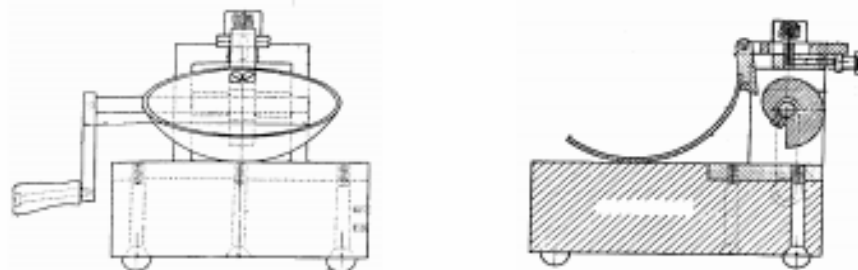
Fuente. Fotografía elaboración propia

3.3.3.2. Límites de Atterberg. Estos límites determinan una separación entre los cuatro modos de comportamiento de un suelo: sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al., 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad nos ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, y naturaleza de las muestras.

Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, esta variación se debe en buena parte a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. Entre más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

Figura 23. Aparato de Casagrande.



Fuente. Apuntes de Geotecnia con énfasis en estabilidad de laderas, España.

3.3.3.3. Corte Directo. Finalmente se realizaron los ensayos de Corte Directo para determinar el Factor de Cohesión y el Angulo de Fricción Interna del suelo.

Se tienen en cuenta 2 casos para hacer los ensayos: cuando el suelo posee su humedad natural, y cuando la muestra está totalmente saturada. Para esto llevamos a cabo un ensayo no consolidado no drenado y otro no consolidado drenado.

Figura 24. Máquina de Corte Directo.



Fuente. Fotografía elaboración propia

Con los resultados de los 2 ensayos comprobaremos el comportamiento de la fuerza cohesiva del terreno, el cual debe ser inversamente proporcional al porcentaje de humedad en el mismo (Nichols).

La resistencia al esfuerzo cortante depende del material que compone el suelo (granulometría, empaque, mineralogía), factores relacionados con la pedogénesis (meteorización, lixiviación, estructura, cementación, incorporación de materia orgánica) y las condiciones de humedad (Goosen).

Figura 25. Caja de corte donde se ubica el espécimen de suelo.



Fuente. Fotografía elaboración propia

El siguiente paso consistió en realizar el trabajo de oficina para determinar los resultados de las propiedades mecánicas del suelo de la zona de estudio.

3.3.3.4. Resultados Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio fueron consignados en la siguiente tabla.

Tabla 5. Resultados ensayos de laboratorio.

ENSAYOS		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
GRANULOMETRIA	% G	32,95%	29,56%	1,36%	52,30%
	% A	14,28%	13,17%	5,87%	20,45%
	% F	52,82%	57,26%	92,77%	27,23%
LIMITES	LL	47,49%	40,98%	48,82%	59,43%
	LP	31,43%	30,37%	29,57%	31,91%

ENSAYOS		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
	IP	16,06%	10,61%	19,25%	27,52%
CLASIFICACIÓN		ML	ML	ML	GM-GC
CORTE DIRECTO					
SATURADO	C	492 gr/cm ²	522,2 gr/cm ²	125,2 gr/cm ²	75,49 gr/cm ²
	Φ	13°	10°	25°	27°
HUMEDAD NATURAL	C	556 gr/cm ²	387,2 gr/cm ²	428 gr/cm ²	971,6 gr/cm ²
	Φ	33°	28°	27°	31°

Fuente. Elaboración propia

Según los resultados de los ensayos predominan en la zona los suelos limosos de baja plasticidad.

Los ensayos de corte directo muestran la disminución de la cohesión y el ángulo de fricción cuando el suelo se satura de agua.

Los formatos de los ensayos se pueden observar en el anexo B.

3.4. HIDROLOGÍA

Es la ciencia geográfica encargada de estudiar la distribución, espacial y temporal, y las propiedades del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares.

Los trazados de los elementos hidrográficos se caracteriza por la adaptación o inadaptación a las estructuras litológicas y tectónicas, pero también la estructura

geológica actúa en el dominio de las redes hidrográficas determinando su estructura y evolución.

El patrón de drenaje dominante en la zona es de tipo sub paralelo. Está especialmente controlado por el diaclasamiento de orientación N55°W, 90°⁶.

La precipitación anual promedio (1992-2011) es de 2168 mm, siendo los meses de Abril, Mayo y Octubre los de mayor pluviosidad. Ver Anexo C para los registros de precipitación completos de la zona.

En la zona se observa escurrimiento superficial detonado por lluvias intensas. Algunas laderas tienen un escurrimiento más rápido que otras, esto depende de la topografía, de la cobertura vegetal y de la permeabilidad de los horizontes superficiales del suelo. En general los suelos de la zona son pobremente drenados reflejando una permeabilidad alta.

Durante el recorrido de la vía bajando hacia Chipatá se observan numerosas quebradas. Los caudales aumentan en un 100% en la temporada invernal lo que ocasiona flujos de lodos, deslizamientos principalmente traslacionales, y caídas de suelo por socavación de las laderas.

La Hidrogeología consiste en el estudio de las aguas subterráneas, es decir de la presencia del nivel freático en la zona de estudio, y la capacidad de infiltración del agua en el suelo y subsuelo.

El nivel freático se encuentra ubicado según estudios anteriores (Cruz y del Toro, 1993) entre 1,3 m y 4 m de profundidad. A medida que la tabla de aguas

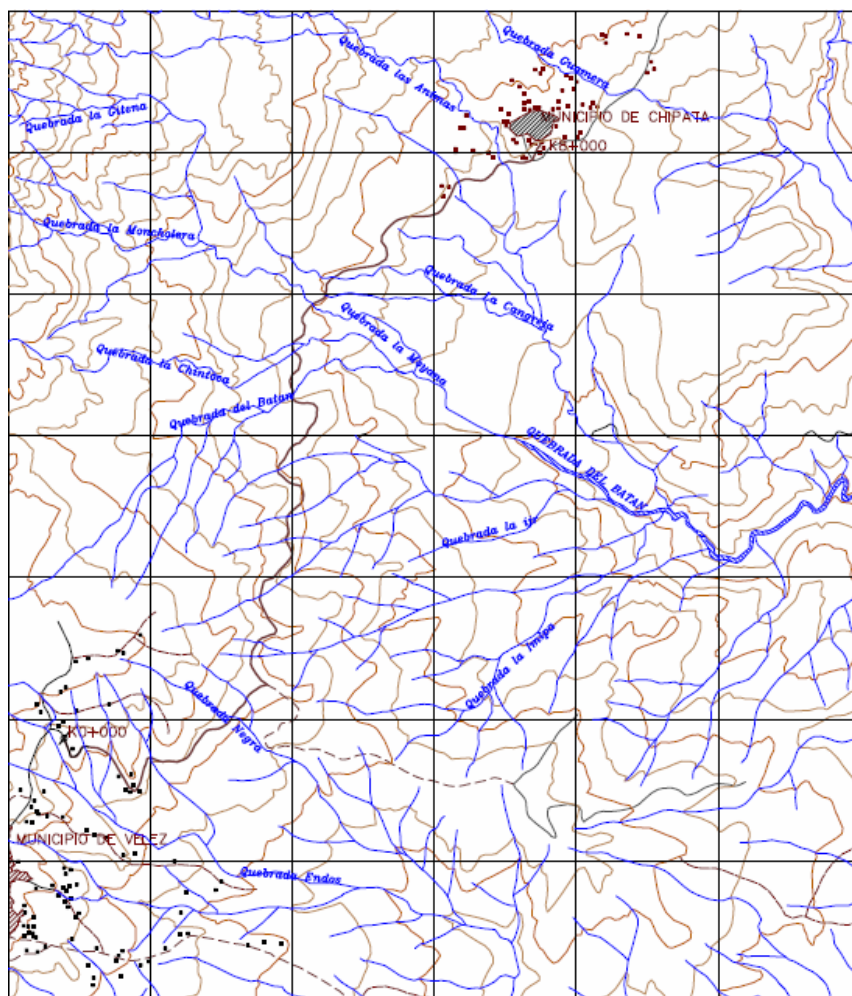
⁶ Álvarez y bueno, Evaluación Geotécnica del Municipio de Vélez para uso urbano 1994.

desciende por la pendiente del terreno se acerca al nivel de la superficie, llegando a observarse fácilmente en ocasiones.

La precipitación es el factor que comúnmente actúa como detonante en zonas tropicales, debido a que la mayoría de los fenómenos de remoción ocurren después de fuertes lluvias o durante periodos lluviosos extensos. Por esto el control del agua superficial y subterránea a lo largo de la zona es el sistema más efectivo para mejorar la estabilización del terreno.

La zona de estudio, y en general todo el municipio de Vélez presenta cauces de bajo caudal y bajo nivel de entallamiento, excepto los ríos principales. Sin embargo las características litológicas del área drenada por estas cuencas ocasionan procesos de disolución de calizas, por tanto hay una tendencia a la infiltración y a la formación de cavernas subterráneas por donde fluye el agua de lluvias en detrimento de las aguas superficiales.

Figura 26. Mapa hidrográfico de la zona de estudio.



Fuente. IGAC, modificado por el autor

La permeabilidad del suelo influye directamente en la distribución del flujo de las aguas subterráneas y superficiales y por ende en la condición de saturación, donde una saturación del 100% representa la condición más desfavorable para la generación de deslizamientos y flujos.

3.5. FACTORES AMBIENTALES

Las características climáticas de un sitio se ven afectadas constantemente por las cambiantes condiciones meteorológicas de la zona. Estas condiciones se pueden definir a partir de un conjunto de parámetros que identificaremos en este trabajo como factores ambientales.

En el caso de este análisis estos agentes de la naturaleza afectan la estabilidad del terreno. Aunque los factores ambientales siempre actúan de manera conjunta, es importante analizarlos de manera aislada para comprender su importancia e implicaciones.

3.5.1. Evaporación

Es el factor que indica cuanta cantidad de agua regresa del suelo al aire a causa de la temperatura del ambiente.

Es importante tener en cuenta la evaporación de la zona ya que se puede estimar la cantidad de agua que permanece en el suelo.

La evaporación anual promedio en la zona es de 1148.6 mm. Ver Anexo C para los registros de evaporación completos de la zona.

3.5.2. Humedad en el ambiente

Este factor se refiere a la presencia de vapor de agua en el aire. El vapor de agua en el ambiente incide en el tiempo de saturación de los suelos de la zona.

El nivel de humedad en un sitio depende de diversos factores, entre los que se encuentran la composición de las masas de aire que llegan a él por medio del

viento, la disponibilidad de cuerpos de agua y masas vegetales, el régimen de precipitaciones, las tasas de evaporación y las temperaturas promedio del aire.

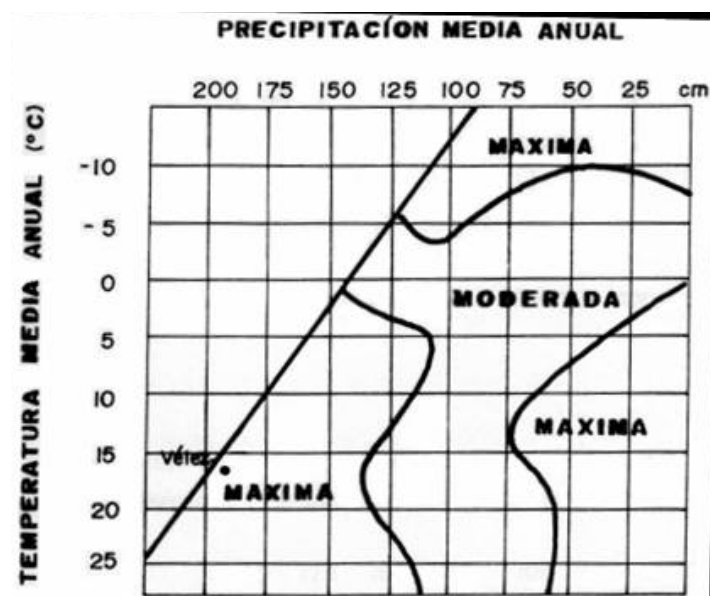
3.5.3. Temperatura

La temperatura afecta de manera inversamente proporcional el tiempo de saturación de los suelos.

Debido al posicionamiento de la vía respecto el nivel del mar, entre 1.600 y 2.300 m, su clima es predominantemente frío, con temperaturas que oscilan entre 8°C (medianoche) y 22°C (mediodía) durante el día.

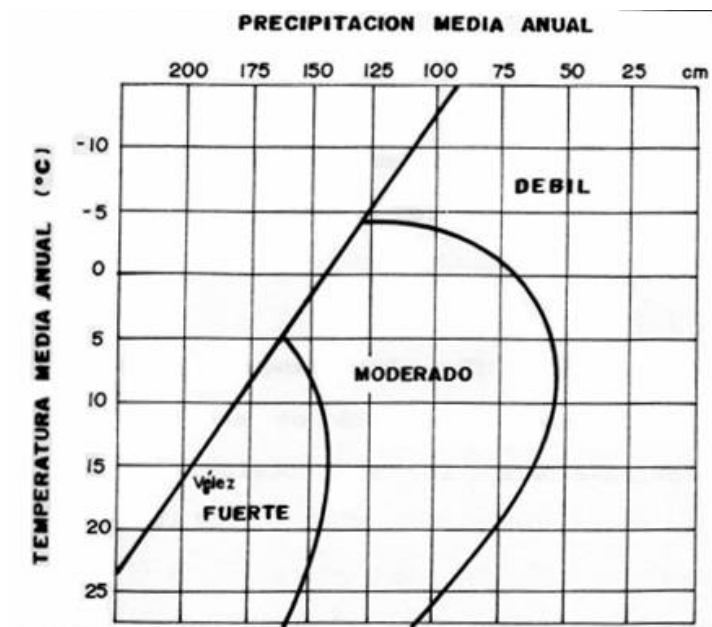
La temperatura promedio en la zona de estudio es de 17°C. En las figuras 28 y 29 se muestra como las condiciones de temperatura y precipitación de la zona inciden en la erosión y la meteorización.

Figura 27. Importancia relativa de la erosión bajo condiciones de precipitación y temperatura.



Fuente: Peltier, tomado de Alvarez y Bueno, 1994

Figura 28. Importancia de la meteorización bajo condiciones de precipitación y temperatura.



Fuente: Peltier, tomado de Alvarez y Bueno, 1994

3.5.4. Viento

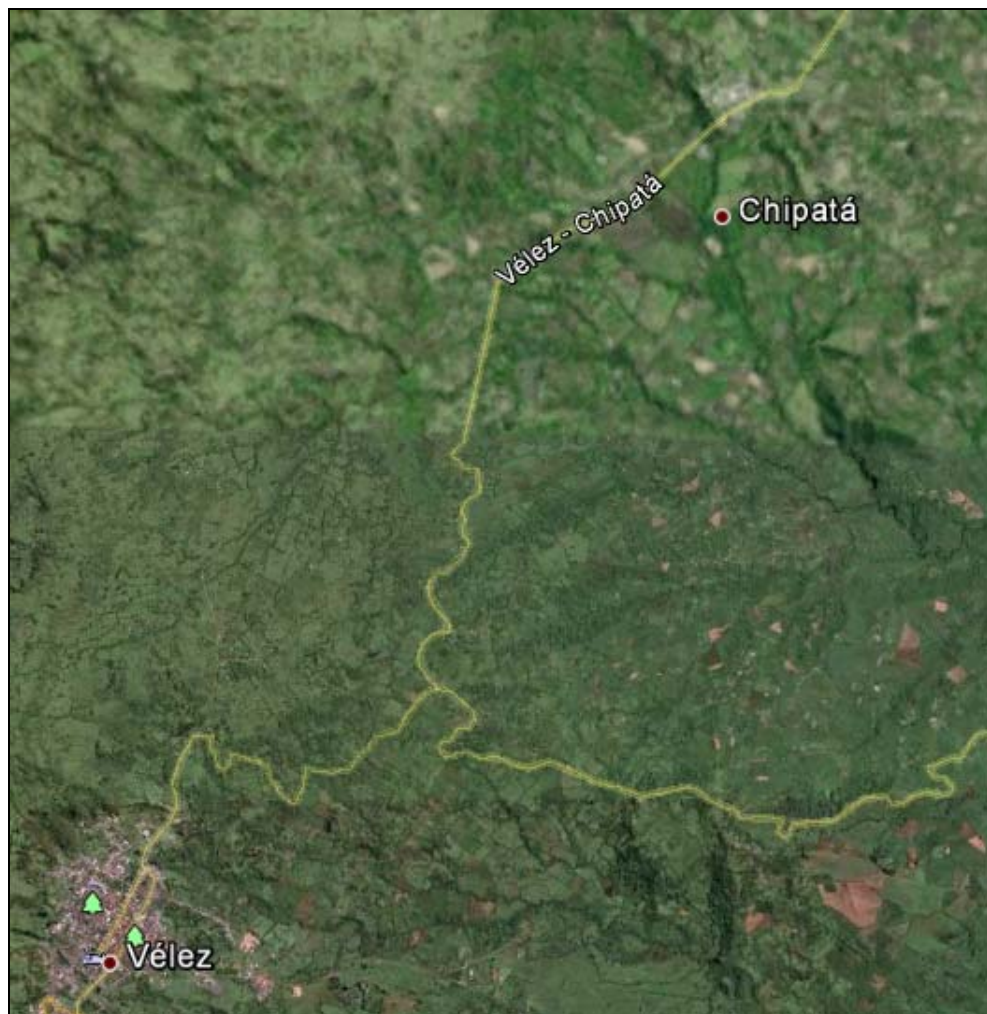
Este factor incide en la estabilidad de los taludes de la zona ya que colabora con la erosión, meteorización y fracturamiento de las partículas que los conforman. Los procesos mencionados hacen más susceptible el terreno a ciertos fenómenos de remoción en masa como los volcamientos y las caídas.

Se determinó que los factores ambientales que más inciden en la inestabilidad del terreno en la zona son la evaporación y el viento. Este último principalmente incide en la generación de caídas de suelo.

3.6. FACTORES ANTRÓPICOS

Para la caracterización de la zona se deben considerar la influencia y afectación que generen las diferentes actividades del hombre en la zona del corredor vial.

Figura 29. Foto satelital de la zona de la vía.



Fuente. Google Maps, modificado por el autor

Entre las actividades de mayor relevancia para la generación de fenómenos de remoción en masa se han destacado las siguientes:

3.6.1. Uso del suelo

Para el análisis del uso del suelo o cobertura vegetal de la zona de estudio se siguió la clasificación de tierras del IGAC.

Es una interpretación basada en los efectos combinados del clima y de las características poco modificables de las geoformas y de los suelos, en cuanto a limitaciones en sus usos, capacidad de producción, riesgo de deterioro del suelo y requerimientos de manejo.⁷

La clasificación se aplica tanto para fines agropecuarios como para identificar zonas objeto de mayor protección y conservación; en ella se conjugan todos los aspectos que determinan el uso más indicado para cada suelo, las prácticas recomendadas y las principales limitaciones.

El sistema de clasificación comprende tres categorías: Clases, Subclases y Grupos de manejo o unidades de capacidad. Las clases son grupos de suelos que presentan el mismo grado relativo de limitaciones y riesgos cada uno, se designan con números romanos del I al VIII, las tierras de la clase VIII son las de mayor limitación y sólo se recomienda la conservación natural en ellas.

Las subclases son divisiones de la clase que tienen el mismo grado de limitación. Las limitantes que determinan las subclases son 5 y se designan con letras minúsculas que se agregan al número de la clase **p**, pendientes, **e**, erosión actual, **h**, exceso de humedad en el suelo por tabla de agua, encharcamientos, e inundaciones, **s**, limitaciones en la zona radicular y **c**, clima adverso. Algunas de estas limitaciones pueden ser temporales o mitigadas.

⁷ Estudio general de suelos y zonificación de tierras, Tomo III, IGAC – Departamento de Cundinamarca. Bogotá 2000

Los grupos de manejo, se distinguen mediante números arábigos.

3.6.1.1. Clasificación agrológica. Según la clasificación agrológica establecida por el IGAC, en la zona de estudio se presentan agrupaciones de suelos categorizadas en las clases III, IV, y VI, cuyas características se describen a continuación:

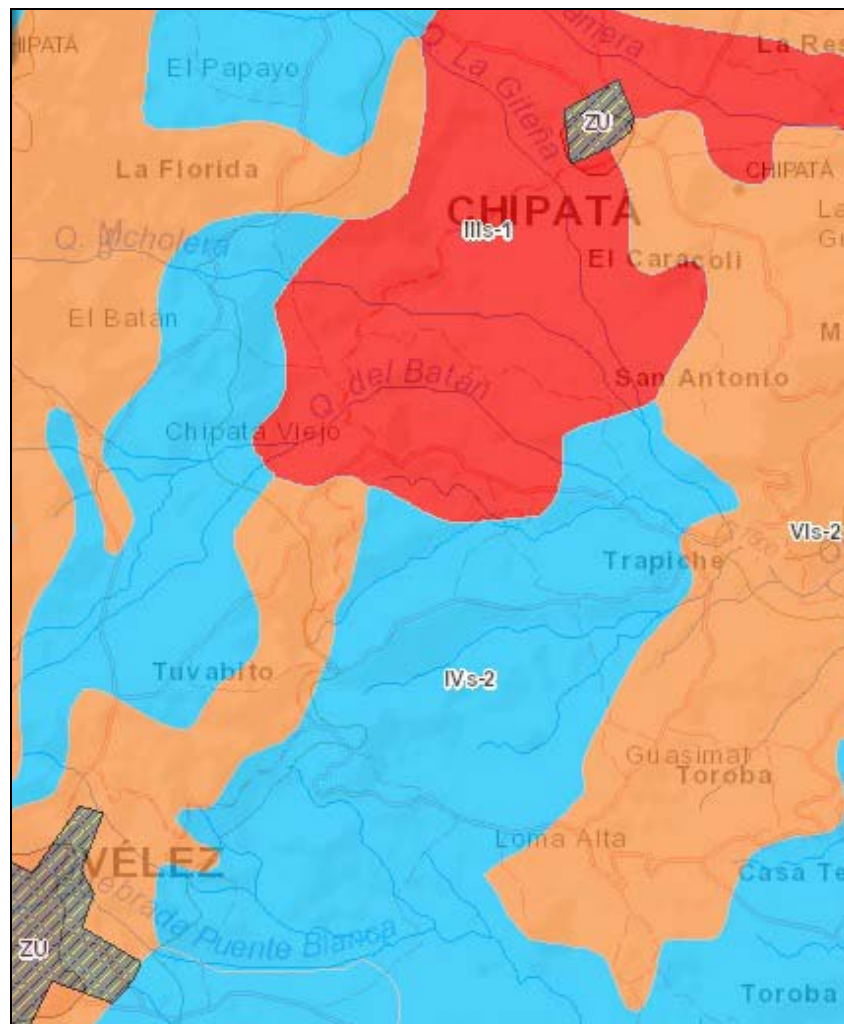
Clase III: Son Tierras con moderadas limitaciones por profundidad del suelo, erosión, fertilidad, pendiente, drenaje y clima que reducen el número de cultivos agrícolas de la zona. Tiene aptitud para cultivos y continuos, utilizando practicas intensivas de conservación de suelos, como siembras en contorno, siembras en fajas, rotaciones y barreras vivas, combinadas con prácticas que tendientes a conservar o aumentar la fertilidad del suelo y a mejorar el drenaje.

Clase IV: Son Tierras con limitaciones muy severas por uno o más de los siguientes factores: pendientes inclinadas, poca profundidad de los suelos, fertilidad muy baja, erosión moderada asevera, drenaje pobre, inundaciones frecuentes, afección moderada de sales o efectos moderados de clima.

Clase VI: Son Tierras con limitaciones permanentes que no pueden corregirse, tales como: Pendientes muy pronunciadas, alta susceptibilidad a la erosión, erosión moderada o severa, alta pedregosidad, poca profundidad de los suelos, drenaje pobre, frecuentes inundaciones, baja capacidad de retención de humedad, moderada afección de sales o sodio o factores climáticos adversos. Su aptitud está limitada a pastos, bosques y vida silvestre. Algunas áreas principalmente las de clima medio son aptas para cultivos de semi-bosque, como café con sombrío cacao y plátano con prácticas especiales de manejo.

La figura 31 muestra las áreas que corresponden a cada clase de tierras en la zona de estudio.

Figura 28. Mapa de capacidad del suelo.



Fuente. IGAC, modificado por el autor

La vegetación existente en la zona corresponde a un Bosque húmedo Montañoso Bajo (Corpes, 1991). Debido a la tala de bosques la región ha desarrollado pastos muy densos, observándose extensas zonas de pastoreo. Entre las especies de árboles presentes se destacan el eucalipto, el sauce, y el Arrayán.

En el recorrido se pueden observar numerosas parcelas donde se cultivan diferentes tipos de alimentos. Entre estos se encuentran cultivos de hortalizas,

cultivos de yuca, cultivos de hoja de bocadillo, cultivos de papa, cultivos de tomate, cultivos de maíz, cultivos de guayaba, y cultivos de café.

El tipo, la densidad, la capacidad de interceptación, el área de protección de cobertura vegetal constituye un factor de resistencia o favorecimiento de procesos morfodinámicos como la erosión y los movimientos en masa⁸.

En áreas de alta pendiente y de coberturas vegetales de ciclos biológicos muy lentos y frágiles, cualquier intervención genera un aumento en la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

En el mapa de Uso del suelo, figura 36, se detallan las áreas de cada uso:

- Bosque Natural
- Pastos naturales
- Cultivos asociados

3.6.2. Construcciones

Este tipo de actividad es una amenaza para las laderas y taludes ya que genera una sobrecarga facilitando los deslizamientos y desprendimientos.

En los primeros 2 kilómetros de la vía se encuentran numerosas viviendas al borde de la vía ya que gran cantidad de personas viven en la zona rural del municipio de Vélez. Se observa una vivienda cada 50 mts aprox. durante este tramo de la vía.

⁸ estudio de coberturas vegetales de Colombia (IDEAM 2000)

Del K2+000 al K5+000 la pendiente del terreno aumenta considerablemente por lo tanto las construcciones son más escasas. Se observa una vivienda cada 400 mts aprox.

Aunque los últimos 3 kilómetros son prácticamente llanos en esta parte no abundan las viviendas, si los centros recreacionales (piscinas), y restaurantes. Una construcción cada 200 mts aprox. para este tramo.

3.6.3. Tránsito vehicular

Esta vía es un corredor de vital importancia para la zona ya que no sólo comunica a Vélez con Chipatá sino además con los municipios de La Paz y La Aguada.

El tránsito genera sobrecarga en las laderas de la vía, desestabilizándolas, en especial en aquellos tramos donde no se encuentra pavimentada.

El tránsito promedio diario está estimado en 3200 vehículos⁹.

3.7. SISMICIDAD

Los movimientos de remoción en masa pueden ser activados por movimientos sísmicos. En el evento de un sismo aumentan el esfuerzo cortante, la presión de poros y la deformación producida por la onda sísmica.

Aunque los municipios de Vélez y Chipatá se encuentran localizados dentro de la región andina del departamento, exactamente en la cordillera oriental, los movimientos sísmicos en el área de estudio son de baja intensidad.

⁹ Interventoría por parte de Consorcio ARA Ingenieros.

Es cierto que todos los municipios del Departamento se hallan amenazados por movimientos telúricos, sin embargo el epicentro del nido sísmico está ubicado a 150 km de profundidad –a 50 km al sur de Bucaramanga entre las poblaciones de Umpalá y Cepitá– en el Cañón del Chicamocha; lo que produce sismos de baja magnitud en la escala de Richter.

La totalidad de los sismos presentados en los últimos 10 años en un radio de 100km alrededor de la zona de estudio se encuentran en el rango de 3.5 y 5.5 grados de magnitud¹⁰.

Es posible que algunos caídos de suelo o detritos hayan sido activados por sismos de baja intensidad en la zona.

¹⁰ Boletín de sismos 2002-2011. INGEOMINAS.

4. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SITUACIÓN DE INESTABILIDAD

El análisis de la situación actual de inestabilidad en la vía se decidió hacer sobre la susceptibilidad del terreno a la generación de fenómenos de remoción en masa.

La susceptibilidad expresa el grado de propensión a que un fenómeno de remoción en masa pueda ocurrir sobre la base de las condiciones locales, o factores internos que afectan el terreno de la zona de estudio. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una precipitación o un sismo, y sus posibles consecuencias no se consideran en un análisis de susceptibilidad ya que esto hace parte de un estudio de amenazas.

Los factores internos se relacionan principalmente con las condiciones intrínsecas de los materiales litológicos y los factores geo-dinámicos producidos al interior de la superficie terrestre. Los principales son:

- Geomorfología y cobertura del terreno
- Características mineralógicas y texturales de los suelos
- Grado de alteración y meteorización
- Grado de fracturamiento
- Nivel freático y presión de poros

4.1. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

Para alcanzar nuestro objetivo de estimar la susceptibilidad en la zona de estudio debemos seguir un método existente, es decir un procedimiento establecido con anterioridad que nos permita llegar al resultado.

El análisis y evaluación de las variables para la zonificación de la susceptibilidad por movimientos de remoción en masa ha conducido al desarrollo de un gran número de métodos.

Investigaciones y aportes en general de varios métodos han sido presentados por Carrara (1983); Brabb (1984); Graham (1984); Hansen (1984); Hartlén et Viberg (1988); Einsten (1988); Riemer et al. (1988); Van Westen (1989b, 1993); Gee (1992); Brabb (1993); Mompelat (1994) y Vargas (1995).

En definitiva los métodos reconocidos para el análisis de variables en fenómenos de remoción en masa son:

4.1.1. Método Empírico

Los métodos empíricos son del tipo subjetivo y están basados en opiniones de expertos. Se implementan generalmente en evaluaciones y zonificaciones preliminares para la toma de decisiones rápidas y efectivas en lugares de desastre o inminente desastre, en zonas de poca extensión.

El alcance de este método depende de la experiencia y capacidades técnicas del evaluador, del conocimiento científico del terreno y de la información técnica disponible.

Sin embargo la opinión de expertos es una técnica que presenta incertidumbre, pues la opinión de cada especialista puede variar dependiendo de su experiencia en el campo específico, en este caso en geotecnia.

Para el presente análisis se decidió no implementar este método.

4.1.2. Método determinístico

Los métodos determinísticos utilizan análisis mecánicos y modelos de estabilidad con bases físicas para determinar el factor de seguridad de una ladera. Son métodos muy confiables cuando se dispone de los datos precisos sobre los parámetros que inciden en la estabilidad de las laderas.

Los métodos determinísticos son adecuados para evaluar el grado de inestabilidad o propensión a deslizamientos en áreas pequeñas (una única ladera). Entre los más empleados se encuentran: el método de tajadas, el método del talud infinito, el método del bloque deslizante y el método de elementos finitos.

La extrapolación de los resultados bajo la utilización de este tipo de método a áreas de estudio más grandes no es un proceso aconsejable.

Por esta última razón descartamos este método para emplearlo en la evaluación de la situación de inestabilidad de la zona del estudio.

4.1.3. Método Probabilístico

Se basan en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución actual y pasada de los fenómenos (Carrara et al., 1995). Se utilizan cuando se dispone de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa, aplicándose modelos estadísticos que pueden ser univariantes o multivariantes.

La principal ventaja es la precisión de los resultados, ya que depende directamente de la calidad y cantidad de los datos adquiridos. El costo de adquisición de los registros de algunos factores que influyen en la inestabilidad de los taludes es el principal inconveniente de este tipo de método.

Dentro de este grupo se encuentran los métodos estadísticos y el análisis de frecuencia de deslizamientos. Son métodos indirectos cuyos resultados se pueden extrapolar a zonas distintas para estimar la susceptibilidad, con condiciones geológicas y climáticas homogéneas.

Como se menciona anteriormente este tipo de método requiere suficiente información consistente de los factores que influyen en los movimientos, entre ellos un registro histórico de los fenómenos de remoción en masa, a una escala detallada para captar la mayor cantidad de movimientos; y esto no es lo que ocurre en el caso de este estudio.

4.1.4. Método Heurístico

Los métodos heurísticos, o también llamados cualitativos o semi-cuantitativos, se basan en categorizar y ponderar los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de estos en la generación de los fenómenos de remoción en masa en la zona de estudio (Ambalagan, 1992; Brabb,1972; Nilsen,1979). Son métodos indirectos, ya que los resultados se pueden extrapolar a zonas sin deslizamientos con una combinación similar de factores.

El mapeo puede realizarse sobre un área donde se tiene un inventario de estos eventos, o sobre áreas en las cuales no se tiene conocimiento de deslizamientos en el pasado, pero se requiere predecir la posibilidad de amenazas hacia el futuro. En el primer caso se trabaja con una metodología de mapeo directo con base en la experiencia y en el segundo una de mapeo indirecto con base en los factores que contribuyen a su ocurrencia.

No es un método recomendable para escalas detalladas (1:2000 – 1:5000) ya que no tiene suficiente precisión por estar sujeto a una ponderación (subjetiva) de los factores.

En la actualidad el uso de los sistemas de información geográfico es indispensable para el desarrollo de los métodos heurísticos.

Se debe diferenciar entre técnicas de análisis relativo y técnicas de análisis absoluto. El análisis relativo presenta la posibilidad diferencial de ocurrencia de deslizamientos sin dar valores exactos (Heurístico) y en el análisis absoluto se presentan factores de seguridad o probabilidad real de ocurrencia de movimientos (Determinístico).

4.2. ANÁLISIS HEURÍSTICO DE LA INESTABILIDAD DE LA VÍA MEDIANTE EL USO DEL SIG

Después de analizar características de la zona de estudio como área e información histórica, se identificó el método heurístico como el más adecuado para el proyecto. Además el estilo de presentación de los resultados es muy favorable en este tipo de método.

Para desarrollarlo usamos el software ArcGIS, este nos permite hacer una combinación lineal de los factores incidentes en la estabilidad mediante sus respectivos mapas temáticos.

No existe un procedimiento estandarizado para la preparación de mapas de susceptibilidad a los deslizamientos y sí existe mucha libertad en la determinación de los pasos a seguir y los niveles de susceptibilidad varían de acuerdo con los criterios de los diversos autores.¹¹

¹¹ SUAREZ, Jaime – Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.

Son escasos los estudios geotécnicos realizados con anterioridad en la vía Vélez – Chipatá, por lo que no se cuenta con un inventario histórico de deslizamientos de la zona, esta situación nos lleva a ubicar en el mapa los fenómenos de remoción que se presentan únicamente en la actualidad.

La zonificación puede efectuarse en diferentes escalas, de acuerdo a la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (1976).

- Escala nacional (más de 1: 1.000.000).
- Escala regional (1:100.000 a 1:500.000).
- Escala de cuenca (1:25.000 a 1:50.000).
- Escala grande (1:5.000 a 1:15.000).

Para el estudio de la inestabilidad del terreno en la zona se necesita trabajar en una escala grande para lograr una buena precisión en el análisis. Esta escala nos permite la toma de decisiones en aspectos de prevención y manejo.

Generalmente, la escala 1:5.000 es la mejor para establecer planes de manejo de los riesgos (Leroi, 1996); pero debido a que la cartografía necesaria para este estudio a esa escala es inexistente se trabajó con los planos a escala 1:25000 proporcionados por el IGAC.

De acuerdo a la topografía identificamos las áreas montañosas de mayor pendiente y los valles semiplanos. Con el mapa geológico, cada formación se analiza basándose en sus características mecánicas. Luego se combinan con los mapas de pendientes y de uso del suelo dentro del sistema de información geográfica.

Se recomienda localizar con mucha precisión las áreas cubiertas por coluviones, las cuales son generalmente de susceptibilidad muy alta, al igual que las áreas

con procesos intensos de erosión y las áreas de influencia de las grandes fallas geológicas. Se deben tener en cuenta otros factores tales como el uso de la tierra y drenaje.

Para la evaluación se utilizó la siguiente información recopilada en diferentes instituciones.

4.2.1. Parámetros Condicionantes

A continuación definimos las variables que intervienen de manera directa en la ocurrencia de los fenómenos de remoción en la zona de estudio, y posteriormente asignamos una ponderación a cada una de acuerdo a su grado de influencia sobre la susceptibilidad.

Diversos autores (Ojeda 2001, Vargas, 1999) indican que los 4 mapas esenciales en la zonificación de la susceptibilidad por el método heurístico son: Geológico, Geomorfológico, Uso del Suelo, Pendientes.

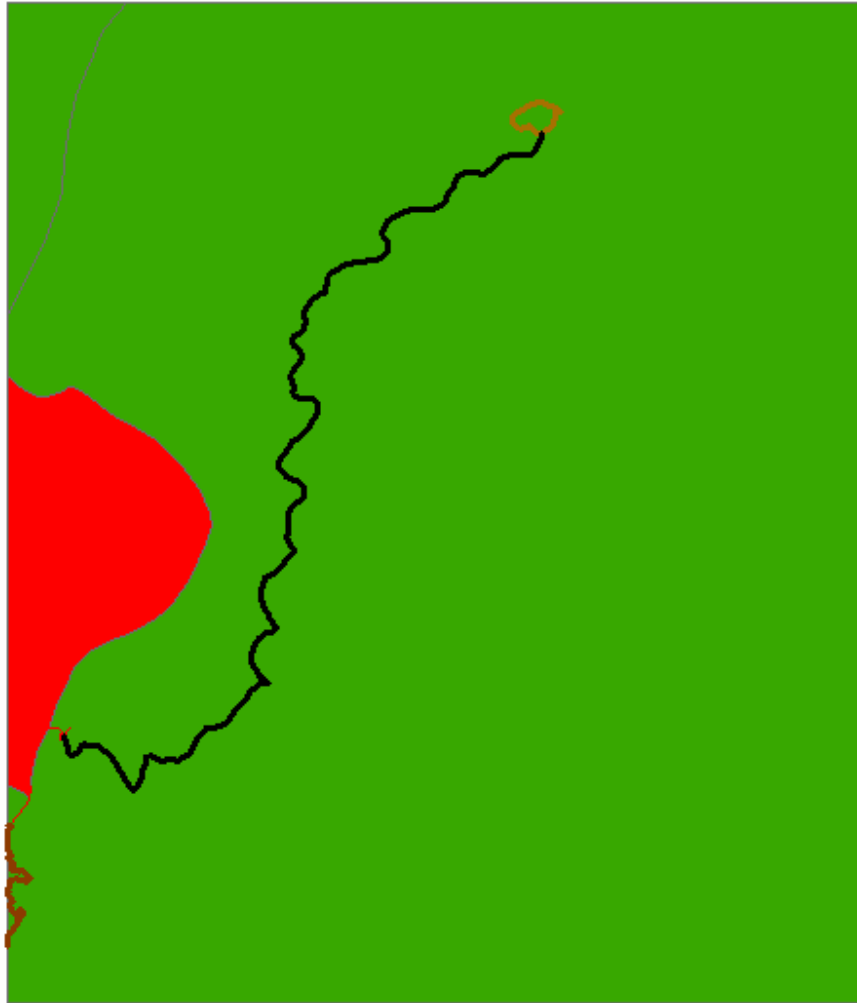
A cada zona homogénea se le asignó un valor de ponderación de 1 a 5, que representa su susceptibilidad a los fenómenos. Donde 1 es el valor de más baja susceptibilidad y 5 el de más alta susceptibilidad.

4.2.1.1. Geología. Basándome en el trabajo realizado por INGEOMINAS, donde para la zona de estudio solo se encuentran cartografiadas 2 formaciones geológicas: Paja y Tablazo, y una zona de coluvión; se modeló en el SIG el mapa geológico de la zona.

A cada zona geológica se le asignó un valor de ponderación que representa su susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa. Al coluvión se le asignó un

valor 5, es decir la ponderación para la susceptibilidad más alta. Las formaciones geológicas Paja y Tablazo fueron ambas ponderadas con un valor 4.

Figura 29. Modelo de la geología de la zona en el SIG.



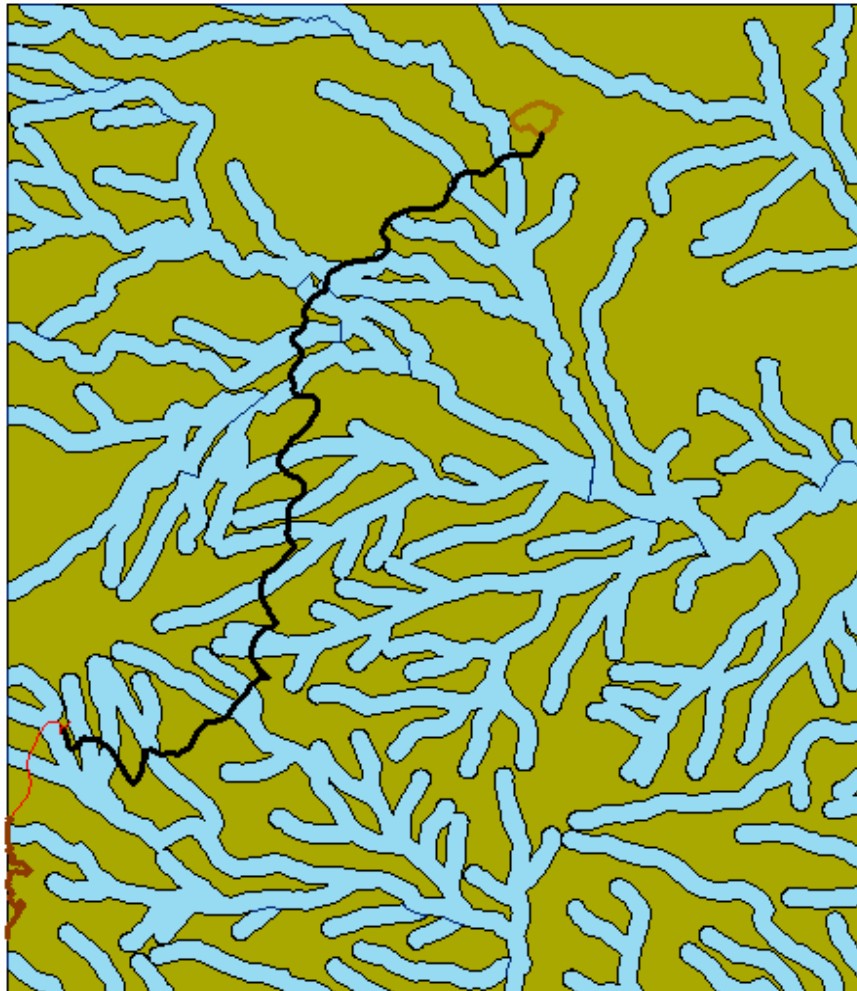
Fuente. Elaboración propia en ArcGis

- El color rojo indica la zona del coluvión.
- El color verde indica las formaciones Paja y Tablazo.

4.2.1.2. Hidrología. La modelación del factor hidrología consistió en dividir el mapa en 2 grupos. Un grupo es aquel que pertenece al área aferente de los diferentes cauces de la zona, y el otro aquel que se encuentra afuera de esta área.

A cada zona homogénea se le asignó un valor de ponderación para representar su susceptibilidad a los fenómenos de remoción en masa. A las áreas aferentes de los cauces se les asignó un valor 5, es decir la susceptibilidad más alta. Las zonas por fuera de las áreas aferentes fueron ponderadas con un valor 3.

Figura 30. Modelo hidrológico de la zona en el SIG.



Fuente. Elaboración propia en ArcGis

- El color azul claro indica el área aferente de los cauces.
- El color verde indica las zonas por fuera del área aferente.

4.2.1.3. Geomorfología. Para el análisis del relieve de la zona se utilizó la cartografía de la zona obtenida en el IGAC, con la que se elaboró el mapa de pendientes donde se establecieron los siguientes rangos de pendientes para su interpretación.

Para la zonificación de las pendientes me basé en la clasificación de rangos establecida por Van Zuidam. Aunque se modificó el número de clases de 8 a 5 ya que la susceptibilidad será clasificada de esta manera.

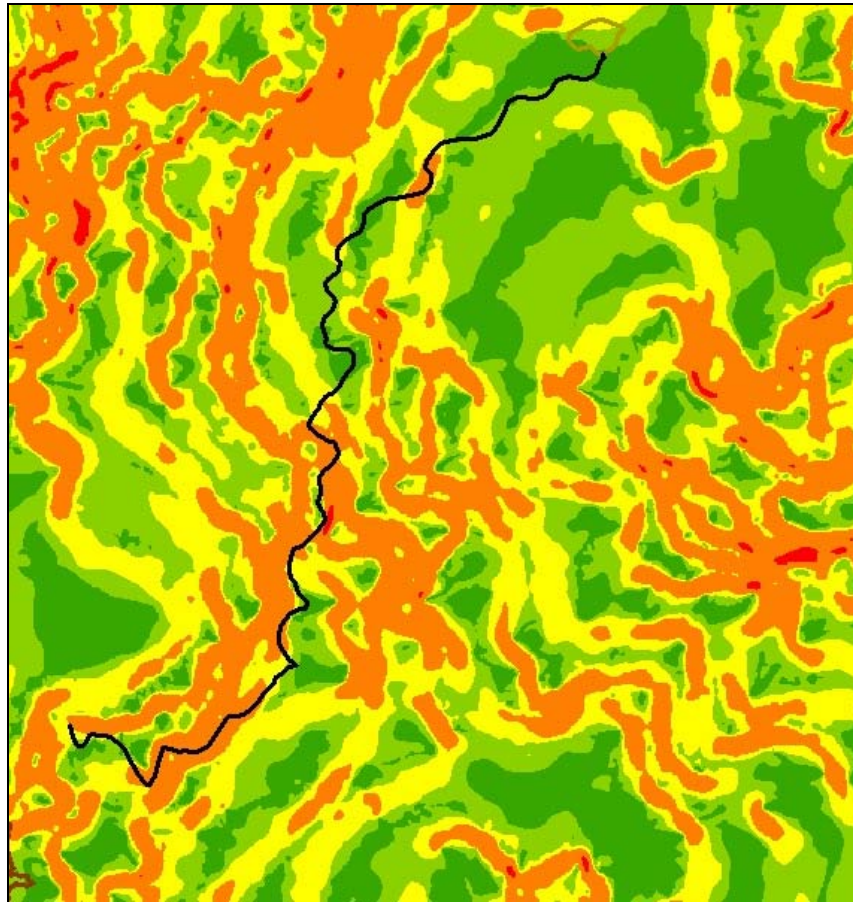
Tabla 6. Descripción de pendientes

Clase	Angulo de Pendiente	Color en Mapa
1	<5°	Verde Oscuro
2	5°-15°	Verde Claro
3	15°-30°	Amarillo
4	30°-60°	Naranja
5	>60°	Rojo

Fuente. Elaboración propia (Modificado de Van Zuidam)

A cada clase de pendientes se le asignó un valor de ponderación para representar su susceptibilidad. A las áreas con pendientes menores a 5° se les asignó un valor 1, es decir la susceptibilidad más baja. Las zonas entre 5° y 15° de pendiente fueron ponderadas con un valor 2. Las zonas entre 15° y 30° de pendiente fueron ponderadas con un valor 3. Las zonas entre 30° y 60° de pendiente fueron ponderadas con un valor 4. Las zonas con más de 60° de pendiente fueron ponderadas con un valor 5, es decir la susceptibilidad más alta.

Figura 31. Mapa de Pendientes de la zona.



Fuente. Elaboración propia en ArcGis

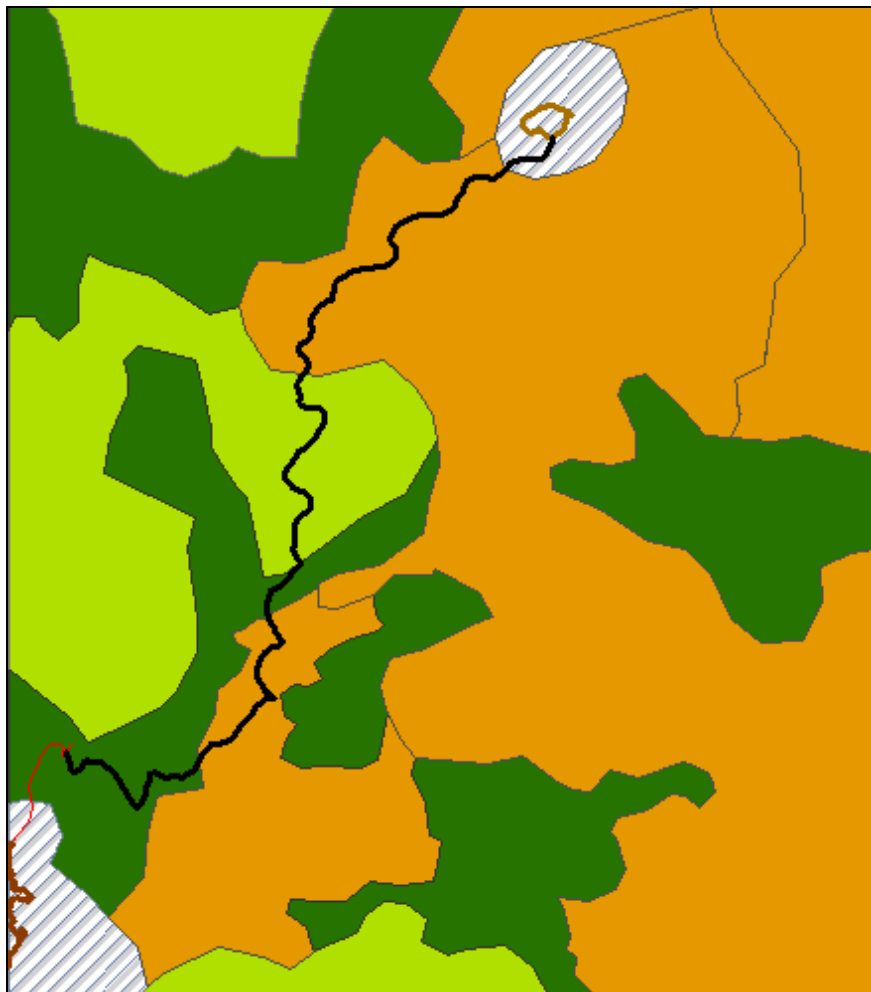
4.2.1.4. Uso Actual del Suelo. En la zona predominan las fincas dedicadas al pastoreo para ganado, y con fines agrícolas. En un porcentaje bajo el suelo está cubierto de matorrales.

En algunos sectores de la vía se observan zonas reducidas de bosque natural a causa de la deforestación ocasionada por los mismos pobladores.

Basándome en las fotografías aéreas tomadas de Google Earth, se realizó el mapa temático de Uso actual del suelo.

A cada zona homogénea de cobertura o uso del suelo se le asignó un valor de ponderación para representar su susceptibilidad. A las áreas de bosque se les asignó un valor 2, es decir susceptibilidad baja. Las zonas de cultivos fueron ponderadas con un valor 3. Las zonas cubiertas por pastos fueron ponderadas con un valor 4, al igual que las zonas de uso urbano.

Figura 32. Uso actual del suelo de la zona.



Fuente. Elaboración propia en ArcGis

- El color naranja indica el área usada en cultivos.
- El color verde claro indica el área de pastos.

- El color verde oscuro indica el área de bosques.
- El color gris indica el área urbanizada.

4.3. MAPA DE LA SITUACIÓN DE INESTABILIDAD MEDIANTE SIG

Para la elaboración del mapa de susceptibilidad de la zona se tuvieron en cuenta los mapas temáticos de todos los parámetros que influyen en la ocurrencia de deslizamientos.

El primer paso fue exportar la cartografía existente de la zona de estudio, es decir las curvas de nivel, los ríos, las zonas urbanas y las viviendas en zonas rurales.

Para la evaluación de amenazas, partiendo del concepto de la misma, la cual hace referencia a la probable ocurrencia de un fenómeno, sea natural o generado por el hombre de forma no intencional, que tenga la potencialidad de generar daños y pérdidas en un contexto social, temporal y espacial determinado, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos temáticos que fueron luego modelados a través del sistema de información:

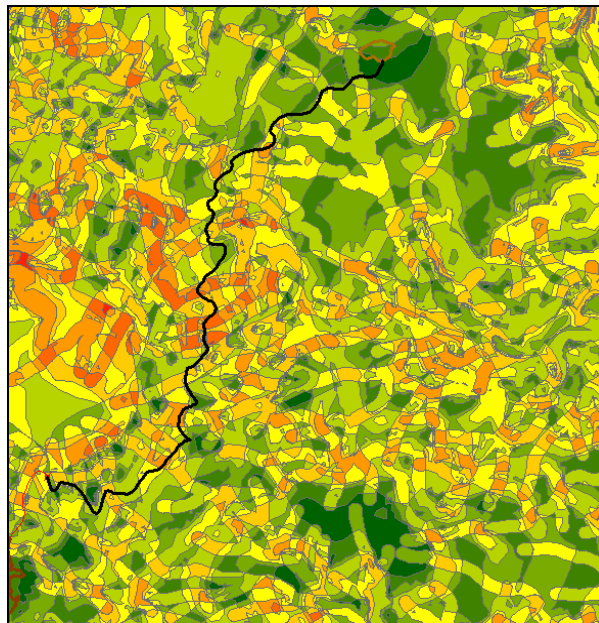
- Geología.
- Geomorfología
- Hidrología
- Uso o cobertura del suelo

De su correlación y superposición se obtiene el nivel de susceptibilidad en una escala que contempla las categorías muy alta, alta, media, baja y muy baja.

El proceso ejecutado en el SIG fue el siguiente:

- Digitalizar los 4 mapas temáticos. En este caso fueron exportados de Autocad Civil a ArcGis.
- Modificar la tabla de atributos de cada mapa agregando una columna donde irá el valor ponderante de cada factor, sea geología, geomorfología, uso del suelo, hidrología.
- Realizar la intersección de los 4 mapas. Se generará un único mapa donde se sobreponen todos los factores mapeados anteriormente. La tabla de atributos será la combinación de las 4 tablas de atributos de los anteriores mapas. Se agrega un campo llamado valor final de ponderación para la nueva tabla, que será la suma de las ponderaciones de todos los factores.
- Se le asigna una rampa de colores a los valores finales de ponderación, es decir la suma de los valores asignados a cada factor.

Figura 33 Mapa de susceptibilidad de la zona de estudio.



Fuente. Elaboración propia en ArcGis

4.3.1. Clasificación. Después de calcular en ArcGis la ponderación definitiva del mapa de susceptibilidad, este se clasificó en 5 clases de diferente susceptibilidad. (ver figura 37)

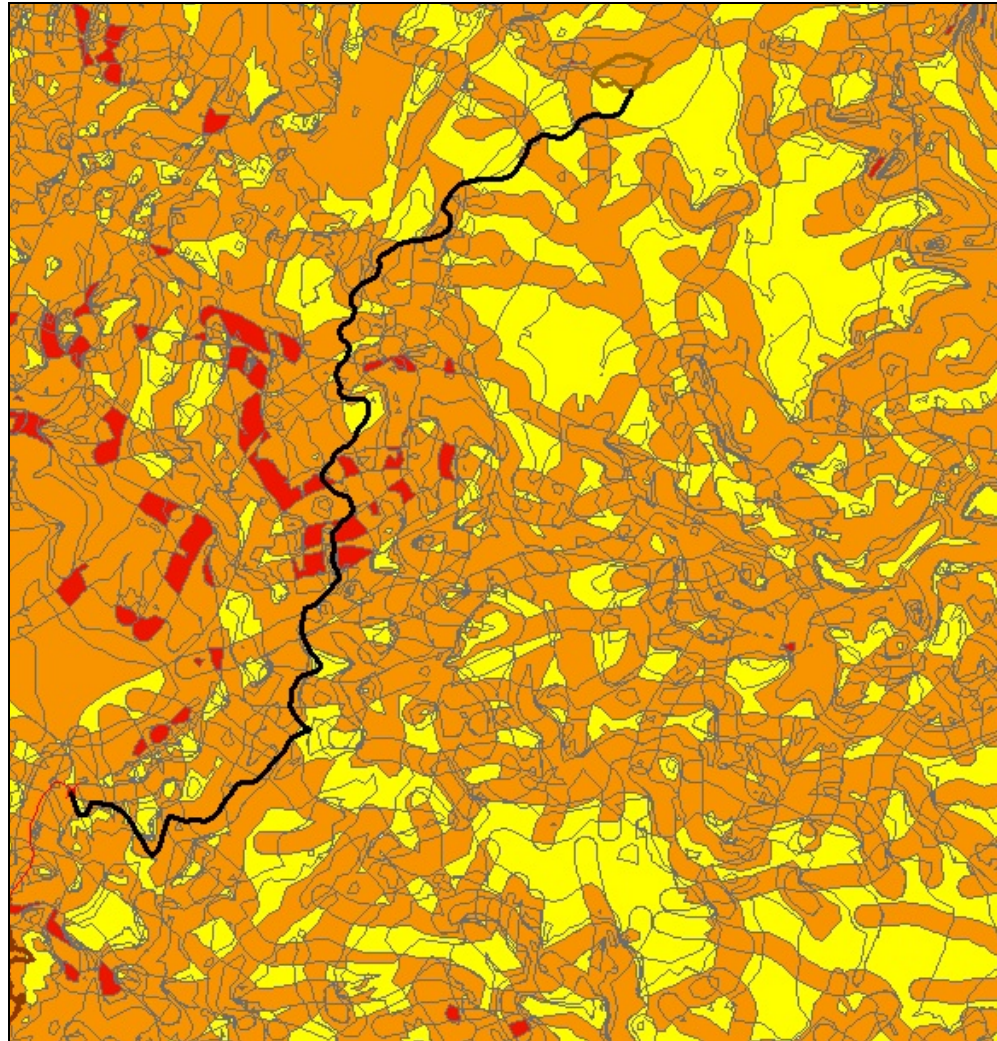
La escala de clasificación irá desde susceptibilidad muy baja hasta susceptibilidad muy alta a fenómenos de remoción en masa. La tabla 8 muestra la clase en que se clasifica la susceptibilidad dependiendo del valor final de ponderación.

Tabla 7. Clasificación del mapa de susceptibilidad según el valor final de ponderación.

Clase	Valor final de ponderación	Color en Mapa
Muy Baja	1 – 4	Verde Oscuro
Baja	5 – 8	Verde Claro
Moderada	9 – 12	Amarillo
Alta	13 – 16	Naranja
Muy Alta	17 – 20	Rojo

Fuente. Elaboración propia, basado en Ojeda, 2001

Figura 34. Mapa de susceptibilidad clasificado en 5 clases.



Fuente. Elaborado por el autor en ArcGis

- El color amarillo indica el área de susceptibilidad moderada.
- El color naranja indica el área de susceptibilidad alta.
- El color rojo indica el área de susceptibilidad muy alta.
- No se presentaron áreas con susceptibilidad baja o muy baja.

Tabla 8. Clasificación de la susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa.

Clase	Calificativo de la susceptibilidad	Característica
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía y bomberos.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía y bomberos. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado.
III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: Movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bio-estabilización de terrenos. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
IV	Alta	Probabilidad alta de deslizamiento en casos de sismos de magnitud importante y lluvias de alta intensidad. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy alta	Probabilidad muy alta de deslizamiento en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de alta intensidad. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente. Tomado de Vides y Otero, 2010

El mapa de susceptibilidad muestra que la zona de estudio se encuentra compuesta únicamente por 3 clases o niveles de susceptibilidad, siendo estas moderada, alta y muy alta. Esto se debe a que los factores de la zona que influyen en los fenómenos de remoción poseen en su mayoría una alta susceptibilidad.

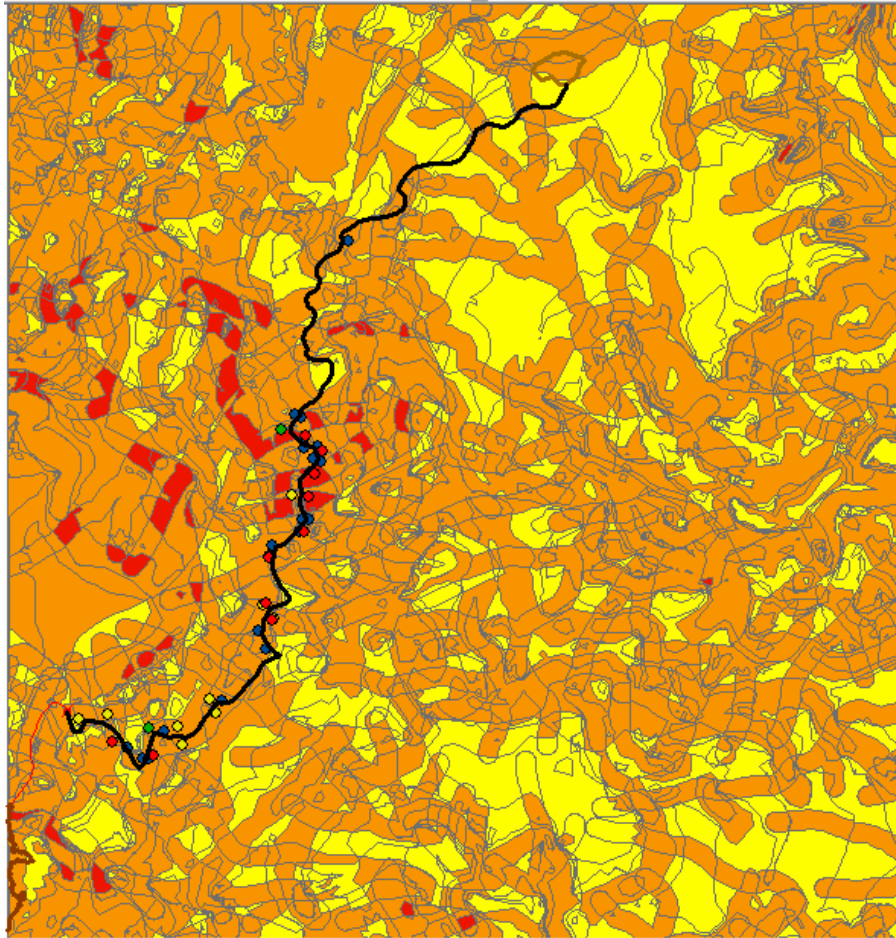
Se puede observar una zona de susceptibilidad moderada principalmente en el sector final de la vía, próximo a Chipatá, que se explica por la presencia de las pendientes de menor inclinación, y la cobertura dada principalmente por cultivos y bosque de poca extensión.

Se puede observar una zona de susceptibilidad alta en la mayoría de la zona de estudio que se explica por la concentración de pendientes medias del terreno (15° a 30°), gran cantidad de cauces que favorecen los flujos y una cobertura dada principalmente por pastos y bosques.

Se puede observar una zona de susceptibilidad muy alta en el sector medio de la vía que se explica por la concentración de las mayores pendientes del terreno ($>30^{\circ}$), y una cobertura dada únicamente por pastos que incide en la erosión generando caídas y deslizamientos en dicho sector.

En la figura 37 se puede observar el mapa de susceptibilidad de la zona, incluyendo los fenómenos de remoción en masa que se presentan.

Figura 35. Mapa de susceptibilidad y fenómenos de remoción de la zona .



Fuente. Elaborado por el autor en ArcGis

5. CONCLUSIONES

- La zona en estudio presenta diversos fenómenos de remoción en masa a causa de los factores locales de geología, precipitación y geomorfología principalmente, como deslizamientos y caídas que producen intrusión en la banca de la vía, y movimientos reptacionales que generan deformaciones en la banca de la vía.
- La formación geológica Paja que predomina en la zona está compuesta de lutita, roca de muy baja resistencia al esfuerzo cortante en condiciones de humedad elevada, lo que condiciona los suelos que proceden de esta.
- La ocurrencia de lluvias intensas (mayores de 100 mm/día) aprovechan las texturas mineralógicas de los suelos, los saturan y aumentan la presión de poros hasta llevarlos al límite de su resistencia.
- Aunque en su mayoría se encuentra localizada sobre una zona de pendientes medias, 15° a 45° , la caracterización mecánica de las formaciones superficiales, la cual consta de matrices arcillosas y limosas embebiendo cantos rocosos, nos indica que el nivel de susceptibilidad puede llegar a categorizarse como alta y muy alta.
- Se debe realizar un estudio más detallado en donde se involucre el análisis geotécnico de los taludes que involucra el proyecto así como la topografía de los sitios mencionados como activos y potencialmente inestables con el fin de programa exploración a profundidades mayores a 5 metros para buscar los estratos de emplazamiento de las estructuras.

- En los puntos en que la susceptibilidad a fenómenos de remoción es alta o muy alta se debe hacer un análisis de capacidad portante y estudios detallados como sondeos, o perforaciones para conocer a fondo los materiales y condiciones geotécnicas de la zona.
- En las zonas de susceptibilidad moderada se debe estudiar la incidencia de los factores detonantes locales como aumento del nivel freático, socavaciones, o sobrecargas en las coronas de los taludes; dado que en el momento no afectan la vía pero en un corto plazo pueden llegar a hacerlo.
- Se deben ejecutar drenes horizontales como alternativa de estabilización en las zonas afectadas por fenómenos de reptación los cuales se aceleran por el aumento del régimen de lluvias.
- La vía requiere muros de contención que deben ser diseñados con una buena capacidad de drenaje para aliviar la presión de poros y contener los empujes laterales del terreno.
- La ventaja del método heurístico consiste en que es adecuado para trabajar en escalas medias o de cuenca, además la modelación en SIG hace mas fácil la presentación de los resultados
- Las desventajas del uso de los SIG, para la zonificación de amenazas de deslizamiento, son el tiempo relativamente largo de digitalización y el peligro de dar mucha importancia al análisis de datos con poca influencia de la experiencia profesional en la zona.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ ROBLES, Mercedes; Bueno SERRANO, Edgar Orlando. Evaluación geotécnica y mapa de aptitud para uso urbano del municipio de Vélez, Santander. 289Hojas. 1994.
- Consorcio ARA Ingenieros S.A. Interventoría técnica de la vía.
- DUQUE ESCOBAR Gonzalo y ESCOBAR POTES Carlos Enrique. Mecánica de los suelos. texto para la asignatura mecánica de suelos I. ingeniería civil. universidad nacional, sede Manizales. Manizales, 2002.
- IGAC. Mapa topográfico de la plancha 150-IV-D y 170-II- B.
- INGEOMINAS. Mapa geológico de la plancha 170.
- SUÁREZ Jaime, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.
- VARGAS CUERVO, Germán. Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa. 1999. 197pag.
- VIDES Ricardo, OTERO. Orlando, Elaboración del mapa de riesgo por eventos geotécnicos en la parte media de la cuenca de la corriente hidrográfica del Rio Guatapurí. 2010.

ANEXOS

Anexo A. Registro Fotográfico

VIA VÉLEZ – CHIPATÁ

Deslizamiento traslacional en K4+900



Colocación de filtro para control de aguas sub-superficiales en K3+130



Agrietamiento de la calzada por posible deslizamiento en K2+500



Caída de suelo y detritos en K6+200



Caída de suelo y detritos en K2+400



TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

Excavación para toma de muestra en K3+100



Envolviendo la muestra en papel película



Muestra de suelo dentro de la caja lista para ser retirada



Anexo B. Formatos de los Ensayos de Laboratorio



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

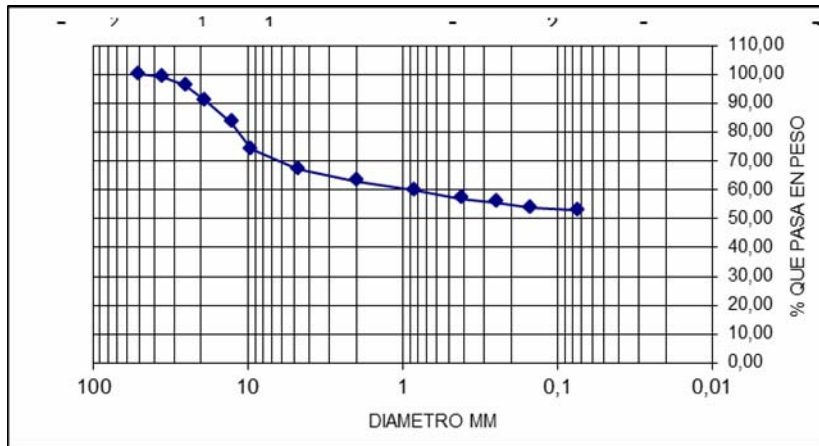
FECHA : ene-12
 PROYECTO : Análisis de la situación de inestabilidad
 LOCALIZACION: Vía Vélez - Chipatá. K0+000

SONDEO : _____
 MUESTRA : 1
 PROFUNDIDAD : 1 m

PESO TARA (gr)	6,9	6,9
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	68,2	74,2
TARA+MUESTRA SECA (gr)	57,5	63,2
PESO AGUA (gr)	10,7	11
PESO MUEST. SECA (gr)	50,6	56,3
HUMEDAD (%)	21,15%	19,54%

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 1056,6
 PESO DESPUES DE LAVADO gr: 538,4
 PORCENTAJE DE ERROR %: 3,28

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,0	0,00	100,00	10	2	42,3	4,00	63,06
1 1/2"	36,1	8,6	0,81	99,19	20	0,84	35,4	3,35	59,71
1"	25,4	33,0	3,12	96,06	40	0,42	29,5	2,80	56,91
3/4"	19,05	54,5	5,16	90,90	60	0,25	14,1	1,33	55,58
1/2"	12,7	79,7	7,54	83,36	100	0,149	19,6	1,86	53,73
3/8"	9,52	98,1	9,28	74,08	200	0,074	10,0	0,95	52,78
No 4	4,75	74,2	7,02	67,05	PASA 200	*****	523,00		
SUMA	*****	348,10	32,95		SUMA	*****	673,84	14,28	
					TOTAL		1021,94		



GRAVAS= 32,95 %
 ARENAS = 14,28 %
 FINOS= 52,78 %

CLASIFICACION SUCS: ML (LIMO BAJA PLASTICIDAD)

VoBo:

Ingeniera Hebenly Celis
 Directora Escuela de Ingenieria Civil



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 CENTRO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
 ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123**

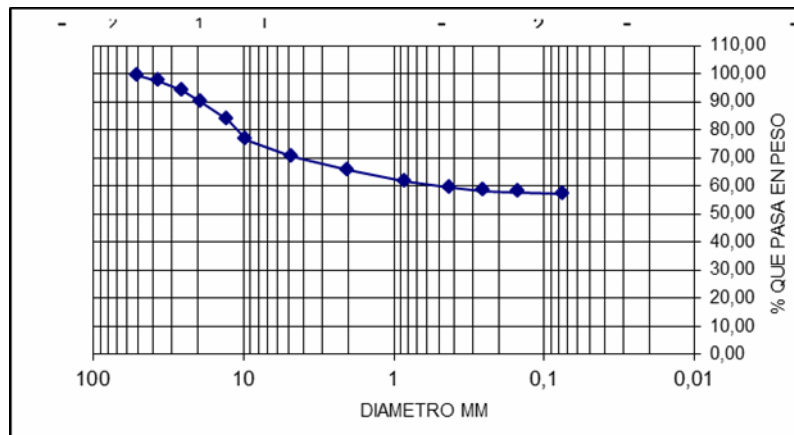
FECHA : ene-12
 PROYECTO : Análisis de la situación de inestabilidad
 LOCALIZACION: Vía Vélez - Chipatá. K3+100

SONDEO : _____
 MUESTRA : 2
 PROFUNDIDAD : 1 m

PESO TARA (gr)	6,9	6,9
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	62,6	66,0
TARA+MUESTRA SECA (gr)	53,1	55,2
PESO AGUA (gr)	9,5	10,8
PESO MUEST. SECA (gr)	46,2	48,3
HUMEDAD (%)	20,56%	22,36%

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 1793,1
 PESO DESPUES DE LAVADO gr: 828,3
 PORCENTAJE DE ERROR %: 3,19

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	10,2	0,57	99,43	10	2	87,7	4,89	65,55
1 1/2"	36,1	37,9	2,11	97,32	20	0,84	69,1	3,85	61,69
1"	25,4	58,1	3,24	94,08	40	0,42	43,3	2,41	59,28
3/4"	19,05	75,7	4,22	89,86	60	0,25	17,9	1,00	58,28
1/2"	12,7	113,0	6,30	83,55	100	0,149	6,4	0,36	57,92
3/8"	9,52	128,6	7,17	76,38	200	0,074	11,8	0,66	57,26
No 4	4,75	106,6	5,95	70,44	PASA 200	*****	969,6		
SUMA	*****	530,10	29,56		SUMA	*****	1205,80	13,17	
					TOTAL		1735,90		



GRAVAS= 29,56 %
ARENAS = 13,17 %
FINOS= 57,26 %

CLASIFICACION SUCS:

ML (LIMO BAJA PLASTICIDAD)

VoBo:

Ingeniera Hebenly Celis
Directora Escuela de Ingenieria Civil

GRAVAS=	<u>1,36</u>	%
ARENAS =	<u>5,87</u>	%
FINOS=	<u>92,77</u>	%

CLASIFICACION SUCS: ML (LIMO BAJA PLASTICIDAD)

VoBo:

Ingeniera Hebenly Celis
Directora Escuela de Ingenieria Civil

Anexo C. Registros Factores Ambientales

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPORACION (mms)

FECHA DE PROCESO : 2012/04/13

ESTACION : 24015270 VELEZ GRANJA

LATITUD	0559 N	TIPO EST	CO	DEPTO	SANTANDER	FECHA-INSTALACION	1974-MAR									
LONGITUD	7340 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	VELEZ	FECHA-SUSPENSION										
ELEVACION	2170 m.s.n.m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	QDA PALENQUE											
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL	
1992	2	01	*	70.7	117.8	92.9	87.4	109.4	93.2	104.3	100.1	94.2	63.4	109.8	3	1043.2
1993	2	01	85.6	93.8	74.6	77.0	70.3	82.4	104.6	99.4	100.4	105.8	70.0	75.9		1039.8
1994	2	01	*	93.7	91.8	109.0	110.6	88.1	104.2	99.4	91.1	91.3	92.5			971.7
1995	1	01	116.0	88.3	108.2	89.3	99.4	71.7	98.5	92.7	103.6	79.3	85.1	88.1		1120.2
1996	1	01	*	81.2	71.4	93.7	*							*		246.3
1998	1	01					87.2	78.6								165.8
1999	1	01	69.9	*								*	75.4	101.9	3	247.2
2000	1	01	83.2	62.7	80.1	86.8	102.0	*	88.1	109.3	*	77.8	82.9	81.5		854.4
2001	1	01	91.2	*			90.2	77.4	138.2	106.3	*	98.6	82.5	120.5		804.9
2002	1	01	97.3	92.8	85.7	97.2	98.4	77.7	99.8	117.5	94.9	131.7	96.8	110.2		1200.0
2003	1	01	111.3	86.6	82.1	104.2	94.7	108.7	111.3	82.4	76.3	70.5	89.2	91.3		1108.6
2004	1	01	108.1	109.3	102.3	71.4	93.8	97.2	92.4	119.2	103.7	91.7	93.3	100.9		1183.3
2005	1	01	102.6	85.3	115.8	102.8	107.9	95.1	130.1	112.2	106.7	105.7	85.7	107.1	3	1257.0
2006	1	01		89.6	94.4	88.3	86.9	99.9	110.0	92.4	89.7	95.0	107.8	3	954.0	
2007	1	01	135.0	110.1	119.6	98.1	74.3	98.0	88.8	76.5	77.4	81.4	113.6	91.9	3	1164.7
2008	1	01	80.5	102.3	109.1	90.2	93.2	104.0	110.9	107.7	119.2	101.8	84.3	*		1103.2
2009	1	01	*	110.3	80.8	109.3	108.5	79.1	112.4	114.9	119.9	101.0	84.3	115.7	3	1136.2
2010	1	01	*	125.6	137.6	93.8	106.7	89.0	88.5	*	86.0	89.9	68.7	99.0	3	984.8
2011	1	01	82.2	89.5	79.8	101.8	72.1	74.4	109.3	103.4	117.8	81.8				912.1
MEDIOS			96.9	93.5	98.5	92.0	93.5	90.6	101.9	104.0	99.8	93.3	85.1	99.6		1148.6
MAXIMOS			135.0	125.6	137.6	109.3	109.0	110.6	138.2	119.2	119.9	131.7	113.6	120.5		138.2
MINIMOS			69.9	62.7	74.6	71.4	70.3	71.7	78.6	76.5	76.3	70.5	63.4	75.9		62.7

** CONVENCIONES **

EST - ESTADO DE LA INFORMACION

** AUSENCIAS DE DATO **

** ORIGENES DE DATO **

1 : Preliminares Ideam	1 : Ausencia del observ	1 : Registrados
2 : Definitivos Ideam	2 : Desperfecto instrum.	3 : Incompletos
3 : Preliminares Otra Entidad	3 : Ausencia instrument	4 : Dudosos
4 : Definitivos Otra Entidad	4 : Dato rechazado	6 : Est. Regresion
6 : Nivel superior	7 : Est. Interpolacion	
7 : Nivel inferior	8 : Est. Otros metodos	
8 : Curva de gastos	9 : Generados (Series)	
9 : Seccion inestable		
A : Instr. sedimentado		
M : Maximo no extrapol.		
* : Datos insuficientes		

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)

FECHA DE PROCESO : 2012/04/13 ESTACION : 24015270 VELEZ GRANJA

LATITUD	0559 N	TIPO EST	CO	DEPTO	SANTANDER	FECHA-INSTALACION	1974-MAR									
LONGITUD	7340 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	VELEZ	FECHA-SUSPENSION										
ELEVACION	2170 m.s.n.m	REGIONAL	08 SANTANDERES	CORRIENTE	QDA PALENQUE											
AÑO EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL		
1992	2 01	24.7	82.7	52.2	63.3	224.6	135.7	166.3	159.4	196.7	163.2	170.9	116.8	1556.5		
1993	2 01	153.1	24.9	128.1	165.3	236.4	134.8	137.3	96.0	260.0	173.7	250.4	128.0	1888.0		
1994	2 01	16.8	158.7	121.2	257.9	387.6	147.0	88.5	117.4	196.7	159.4	282.6	141.9	2075.7		
1995	2 01	44.3	58.6	189.1	188.3	199.2	226.7	215.8	195.7	182.8	254.5	152.7	88.4	1996.1		
1996	2 01	29.3	122.0		344.6	274.7	160.1	3	171.2	135.6	254.5	194.8	135.1	28.4	1850.3	
1997	2 01	100.1	95.0	95.0	204.0							171.0	31.0	696.1		
1998	2 01	52.0	41.0	162.0	334.0	250.0	183.0	361.0	226.0	303.0	459.0	279.0	161.0	2811.0		
1999	2 01	141.0	198.0	190.0	395.0	236.0	321.0	214.0	218.0	279.0	305.0	133.0	122.0	2752.0		
2000	1 01	63.0	118.0	211.0	186.0	230.2	311.0	213.0	148.0	391.0	304.0	197.0	107.0	2479.2		
2001	1 01	65.4	79.5	219.5	263.5	261.0	167.0	158.3	173.8	334.0	305.0	242.6	124.9	2394.5		
2002	1 01	39.0	44.8	232.0	408.3	240.1	258.1	89.8	152.4	229.7	232.0	206.0	78.5	2210.7		
2003	1 01	3.5	74.0	143.5	260.0	301.1	264.9	88.2	214.7	139.4	196.3	141.0	73.6	1900.2		
2004	1 01	76.1	52.6	145.8	330.2	288.6	3	74.7	3	172.0	57.3	169.3	380.1	278.9	15.3	2040.9
2005	1 01	91.4	91.4	85.4	206.5	324.4	185.3	81.9	141.9	149.9	255.1	277.6	51.7	1942.5		
2006	1 01	*	15.2	210.5	344.7	334.5	189.1	72.2	136.3	179.1	240.8	180.8	191.0	2094.2		
2007	1 01	75.7	29.5	267.2	281.2	369.1	200.1	194.7	207.8	238.6	319.4	175.5	102.8	3	2461.6	
2008	1 01	38.8	3	57.3	134.3	130.3	367.0	166.8	187.8	326.5	144.1	265.6	197.7	57.5	2073.7	
2009	1 01	128.4	90.7	239.6	162.2	215.3	204.7	71.4	198.3	146.7	223.7	105.3	87.9	1874.2		
2010	1 01	20.8	61.1	155.3	221.7	285.3	185.3	365.5	242.6	294.5	203.2	208.5	118.4	2362.2		
2011	1 01	38.4	107.8	274.4	397.0	273.3	176.3	145.5	247.5	200.5	204.1			2064.8		
MEDIOS		63.3	80.1	171.4	257.2	278.9	194.3	168.1	178.7	225.8	254.7	199.2	96.1	2167.7		
MAXIMOS		153.1	198.0	274.4	408.3	387.6	321.0	365.5	326.5	391.0	459.0	282.6	191.0	459.0		
MINIMOS		3.5	15.2	52.2	63.3	199.2	74.7	71.4	57.3	139.4	159.4	105.3	15.3	3.5		

** CONVENCIONES **

EST = ESTADO DE LA INFORMACION

** AUSENCIAS DE DATO **

** ORIGENES DE DATO **

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1 : Preliminares Ideam | 1 : Ausencia del observ | 1 : Registrados |
| 2 : Definitivos Ideam | 2 : Desperfecto instru. | 3 : Incompletos |
| 3 : Preliminares Otra Entidad | 3 : Ausencia instrument | 4 : Dudosos |
| 4 : Definitivos Otra Entidad | 4 : Dato rechazado | 6 : Est. Regresion |
| 6 : Nivel superior | 7 : Est. Interpolacion | |
| 7 : Nivel inferior | 8 : Est. Otros metodos | |
| 8 : Curva de gastos | 9 : Generados (Series) | |
| 9 : Seccion inestable | | |
| A : Instr. sedimentado | | |
| M : Maximo no extrapol. | | |
| * : Datos insuficientes | | |