

**RELACIONES EXISTENTES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS CLÁSICOS EN TALUDES COMPUESTOS POR CENIZAS VOLCÁNICAS, Y LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN PERÍODOS CORTOS (6 MESES) Y PERÍODOS LARGOS (12 Ó MÁS MESES), QUE PUEDAN CONSIDERARSE COMO UN CONDICIONADOR DE LAS PROPIEDADES Y ESTABILIDAD GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS.**

**Co-investigadores**

**DIEGO ALEJANDRO GARZÓN CRÚZ  
JAIME HUMBERTO GIRALDO GIRÓN  
FABIO ANDRÉS PARRA ESCOBAR**

**UNIVERSIDAD LIBRE DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL  
PEREIRA  
2012**

**RELACIONES EXISTENTES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS CLÁSICOS EN TALUDES COMPUESTOS POR CENIZAS VOLCÁNICAS, Y LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN PERÍODOS CORTOS (6 MESES) Y PERÍODOS LARGOS (12 Ó MÁS MESES), QUE PUEDAN CONSIDERARSE COMO UN CONDICIONADOR DE LAS PROPIEDADES Y ESTABILIDAD GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS.**

**DIEGO ALEJANDRO GARZÓN CRÚZ  
JAIME HUMBERTO GIRALDO GIRÓN  
FABIO ANDRÉS PARRA ESCOBAR**

**TESIS  
INVESTIGACION EN SUELOS**

**DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN  
ALEJANDRO ALZATE BUITRAGO  
GEÓLOGO**

**UNIVERSIDAD LIBRE DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL  
PEREIRA  
2012**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Pereira, Abril 11 de 2012**

## AGRADECIMIENTOS

---

---

---

---

**DIEGO ALEJANDRO GARZÓN CRUZ**

---

---

---

---

**JAIME GIRALDO GIRÓN**

---

---

---

---

**FABIO ANDRÈS PARRA ESCOBAR**

## CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN .....	12
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2. 1. OBJETIVO GENERAL.....	15
2. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
3. JUSTIFICACIÓN.....	16
4. ANTECEDENTES.....	18
5. MARCOS DE REFERENCIA .....	28
5. 1. MARCO TEÓRICO.....	28
5. 1. 1 El Contenido De Humedad De Los Suelos. ....	28
5. 1. 2 Límites De Atterberg.....	28
5. 1. 2. 1 Estados De Consistencia. ....	29
5. 1. 2. 2 Límite Líquido.....	30
5. 1. 2. 3 Límite Plástico.....	30
5. 1. 3 Granulometría De Los Suelos.....	31
5. 1. 4 Ensayo Corte Directo.....	31
5. 1. 5 Compresión simple. ....	31
5. 1. 6 Sistema Unificado De Clasificación De Los Suelos (USCS).....	32
5. 1. 7 Relación Existente Entre Los Movimientos En Masa Y Las Lluvias. ..	33
5.1.7.1 Lluvias promedio y máximas anuales.....	33
5.1.7.2 Régimen de lluvias. ....	33
5.1.7.3 Aguaceros Torrenciales. ....	34
5. 1. 8 Relación Entre Los Deslizamientos Y La Lluvia Acumulada. ....	34
5. 1. 9 Localización Y Distribución De Las Cenizas Volcánicas En Colombia.	35
5. 1. 10 Formación De Suelos Derivados De Las Cenizas Volcánicas. ....	36
5. 2. MARCO CONCEPTUAL.....	36
5. 3. MARCO LEGAL .....	39
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	43
6. 1 TIPO DE ESTUDIO .....	43
6. 1. 1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	43
6. 2 DESCRIPCION DEL AREA GENERAL DE ESTUDIO.....	43

6. 2. 1 Aspectos Geológicos. ....	43
6. 2. 2 Uso Y Cobertura Actual Del Suelo. ....	45
6. 2. 3 Forma De La Pendiente del talud de estudio de La Romelia. ....	47
6. 2. 4 Estratigrafía General del Área de Estudio. ....	48
6. 2. 5 Identificación Del Comportamiento Sísmico De La Zona. ....	51
6.2.5.1 Microzonificación Sísmica. ....	51
6. 2. 6 Descripción Hidro-Climatológica Del Área De Estudio. ....	53
6. 2. 6. 1 Climatología ....	53
6. 2. 6. 2 Temperatura. ....	53
6. 2. 6. 3 Humedad relativa. ....	53
6. 2. 6. 4 Precipitación. ....	54
6. 3. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....	55
6.3.1 Evolución del Entorno, Ocupación y Características Fisiográficas. ....	56
6. 3. 2 Proceso para la toma de Muestras Alteradas. ....	56
6. 3. 2.1 Mecanismo para la toma de muestras alteradas. ....	57
6. 3. 3 Procedimiento Para La Toma De Muestras Inalteradas. ....	61
7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN ....	64
7.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMECAÑICOS DEL....	64
TALUD UBICADO EN LA ROMELIA, VIA DOSQUEBRADAS SANTA ROSA. ...	64
7.1.1 Muestras Alteradas. ....	64
7.1.2 Muestras Inalteradas (Mañana). ....	77
7. 2 DATOS CLIMATOLÓGICOS ....	79
7.3 POSIBLES RELACIONES ENTRE PARÁMETROS FÍSICO MECÁNICOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS. ....	81
7.3.1 Correlación lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad. ....	82
7.3.2 Correlación lluvia acumulada mensual vs contenido de humedad. ....	84
7.3.3 Correlación lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad. ....	85
Figura 25. Correlación de las lluvias acumuladas cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana. ....	86
7.4 RESULTADO ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (PC-STABLE).....	87
7.4.1 Estimación De Los Parámetros Mecánicos Del Suelo. ....	88
7.4.2 Interpretación De Resultados De Pc-Stable. ....	89
7.4.3 Resultados Del Software PC-STABLE.....	90
8. CONCLUSIONES. ....	95
9. RECOMENDACIONES ....	98
10. BIBLIOGRAFÍA ....	99
ANEXOS.....	101

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VOLCANES (▲) Y DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS (ÁREA ACHURADA) EN COLOMBIA (MODIFICADO DE IGAC, 1995). CERCA DEL 12% DEL TERRITORIO NACIONAL ESTÁ CUBIERTO POR ESTOS SUELOS.....	35
FIGURA 2. FORMACIÓN DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS.....	36
FIGURA 3. MAPA DE COBERTURA Y USO DEL SUELO DE DOSQUEBRADAS. 2006.....	46
FIGURA 4. FOTO AÉREA VÍA I29 NORTE PUENTE HELICOIDAL. TALUD INICIO DOBLE CALZADA LA ROMELIA-SANTA ROSA .....	47
FIGURA 5. TALUD DE ESTUDIO FORMA DE LA PENDIENTE .....	48
FIGURA 6. MAPA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DOSQUEBRADAS.....	52
FIGURA 7. FOTO AÉREA VÍA I29 NORTE PUENTE HELICOIDAL. TALUD INICIO DOBLE CALZADA LA ROMELIA-SANTA ROSA .....	55
FIGURA 8. FOTO DEL TALUD DE ESTUDIO INICIO DOBLE CALZADA LA ROMELIA-SANTA ROSA. VÍA I29 NORTE PUENTE HELICOIDAL. ....	56
FIGURA 9. PROCESO MEDIANTE EL CUAL SE EXTRAE LA MUESTRA ALTERADA. ....	57
FIGURA 10. EQUIPO PARA LA TOMA DE MUESTRA ALTERADA.....	58
FIGURA 11. FOTOGRAFÍAS DE TOMA Y EMBALAJE DE MUESTRAS.....	58
FIGURA 12. EMPAQUE Y TRANSPORTE DE LA MUESTRA.....	59
FIGURA 13. MUESTRAS DESPUÉS DE SER SACADAS AL HORNO 105°C. ....	59
FIGURA 14. MUESTRA SECADA Y LISTA PARA SER SOMETIDA A LOS ENSAYOS.....	60
FIGURA 15. MUESTRA SOMETIDA AL ENSAYO DE CASA GRANDE. ....	60
FIGURA 16. MUESTRA SOMETIDA AL ENSAYO DE TAMIZADO. ....	61
FIGURA 17. FOTOGRAFÍAS EXTRACCIÓN DE ESPÉCIMEN MUESTRA INALTERADA.....	61
FIGURA 18. FOTOGRAFÍAS EMBALAJE Y CALIBRACIÓN DE LA MUESTRA INALTERADA PARA SER LLEVADA AL LABORATORIO. ....	62
FIGURA 19. EQUIPO PARA REALIZAR ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE... ..	62
FIGURA 20. LAVADO DE LA MUESTRA EN EL TAMIZ # 200.....	63
FIGURA 21. CORRELACIÓN DE LLUVIAS ACUMULADAS QUINCENAL VS CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA. ....	83
FIGURA 22. CORRELACIÓN DE LAS LLUVIAS ACUMULADAS QUINCENAL VS CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE.....	83
FIGURA 23. CORRELACIÓN DE LAS LLUVIAS ACUMULADAS MENSUAL VS CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA. ....	84

FIGURA 24. CORRELACIÓN DE LAS LLUVIAS ACUMULADAS QUINCENAL VS  
CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE.....85

FIGURA 25. CORRELACIÓN DE LAS LLUVIAS ACUMULADAS CUARENTA Y  
CINCO DÍAS VS CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA. ....86

FIGURA 26. CORRELACIÓN DE LAS LLUVIAS ACUMULADAS CUARENTA Y  
CINCO DÍAS VS CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE. ....87



## LISTA DE TABLAS

pág.

TABLA 1. DESASTRES DEL MUNICIPIO DE DOSQUEBRADAS 1933-2002. 2003 .....	16
TABLA 2. MICROFÁBRICA DE ARCILLAS Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS....	25
TABLA 3. PROPIEDADES FÍSICAS Y GENERALIDADES DE LAS ALÓFANAS ..	26
TABLA 4. LEYES Y DECRETOS .....	39
TABLA 5. LEYES Y DECRETOS .....	41
TABLA 6. ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE USO Y COBERTURA DEPARTAMENTO DE RISARALDA. 2006.....	45
TABLA 7. ACTUALIZACIÓN DEL MAPA DE USO Y COBERTURA DEPARTAMENTO DE RISARALDA. 2006.....	46
TABLA 8. ANÁLISIS DE LLUVIA PARA CUATRO ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN .....	54
TABLA 9. RESULTADOS DE LABORATORIOS MES DE FEBRERO JORNADA DE LA MAÑANA. ....	65
TABLA 10. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE FEBRERO JORNADA DE LA MAÑANA .....	65
TABLA 11. RESULTADOS DE LABORATORIOS MES DE FEBRERO JORNADA DE LA TARDE.....	66
TABLA 12. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE FEBRERO JORNADA DE LA TARDE.....	66
TABLA 13. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE MARZO JORNADA DE LA MAÑANA. ....	67
TABLA 14. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE MARZO JORNADA DE LA MAÑANA .....	67
TABLA 15. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE MARZO JORNADA DE LA TARDE.....	68
TABLA 16. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE MARZO JORNADA DE LA TARDE .....	68
TABLA 17. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE ABRIL JORNADA DE LA MAÑANA. ....	69
TABLA 18. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE ABRIL JORNADA DE LA MAÑANA. ....	69
TABLA 19. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE ABRIL JORNADA DE LA TARDE.....	70
TABLA 20. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE ABRIL JORNADA DE LA TARDE. .....	70

TABLA 21. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE MAYO JORNADA DE LA MAÑANA. ....	71
TABLA 22. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE MAYO JORNADA DE LA MAÑANA .....	71
TABLA 23. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE MAYO JORNADA DE LA TARDE. ....	72
TABLA 24. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE MAYO JORNADA DE LA TARDE. ....	72
TABLA 25. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE JUNIO JORNADA DE LA MAÑANA. ....	73
TABLA 26. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE JUNIO JORNADA DE LA MAÑANA .....	73
TABLA 27. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE JUNIO JORNADA DE LA TARDE .....	74
TABLA 28. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE JUNIO JORNADA DE LA TARDE .....	74
TABLA 29. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE JULIO JORNADA DE LA MAÑANA. ....	75
TABLA 30. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE JULIO JORNADA DE LA MAÑANA .....	75
TABLA 31. RESULTADOS DE LABORATORIO MES DE JULIO JORNADA DE LA TARDE. ....	76
TABLA 32. RESUMEN ESTADÍSTICO MES DE JULIO JORNADA DE LA TARDE .....	76
TABLA 33. RESULTADOS DE LABORATORIO PERFORACIONES.....	77
TABLA 34. RESUMEN ESTADÍSTICO DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE LAS MUESTRAS INALTERADAS.....	78
TABLA 35. PROMEDIO DE LOS MESES .....	79
TABLA 36. PROMEDIO MENSUAL .....	79
TABLA 37. BASE DE DATOS PARA LAS CORRELACIONES DE LLUVIA ACUMULADA QUINCENAL VS CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA Y TARDE. ....	82
TABLA 38. BASE DE DATOS PARA LAS CORRELACIONES DE LLUVIA ACUMULADA MENSUAL VS CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA Y TARDE. ....	84
TABLA 39. BASE DE DATOS PARA LAS CORRELACIONES DE LLUVIA ACUMULADA CUARENTA Y CINCO DÍAS VS CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA Y TARDE.....	85
TABLA 40. DATOS PARA REALIZAR LA PRUEBA EN EL PROGRAMA PC-STABLE. ....	88
TABLA 41. RESULTADO FACTOR DE SEGURIDAD SONDEO 1 Y SONDEO 7 ..	89

## LISTA DE ANEXOS

pág.

<b>ANEXO 1. MÉTODOS DE ENSAYOS PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN INCONFINADA DE SUELOS COHESIVOS.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 2. ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE SUELOS Y ROCAS, CON BASE EN LA MASA .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 3. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS Y DRENADAS.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO4. ENSAYO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO .....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO5.MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, DEL LÍMITE PLÁSTICO Y LOS ÍNDICES DE PLASTICIDAD DE SUELOS COHESIVOS.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO6. LIMITE PLÁSTICO .....</b>	<b>118</b>

## **INTRODUCCIÓN**

El municipio de Dosquebradas a través de los tiempos ha tenido que afrontar numerosos deslizamientos que se han llevado todo a su paso; generando así grandes cargas económicas en los procesos de recuperación y estabilización de sitios y regiones afectadas, A esto se suma la pérdida de vidas humanas, que han cobrado tales eventos por cuenta de grandes épocas invernales que desestabilizan estas estructuras de suelo no obstante haberse adelantado previamente análisis de estabilidad y exploración geotécnica con sus respectivos ensayos de laboratorio que arrojan diseños de perfilado y medidas de estabilización.

Dadas las anteriores consideraciones se deduce que aún no se cuenta con el conocimiento suficiente acerca del comportamiento mecánico de suelos derivados de cubiertas piroclásticas (cenizas volcánicas) y las relaciones que éstos tienen con algunas variables climatológicas; razón por la cual el presente proyecto plantea el seguimiento en el tiempo (a corto y mediano plazos) de la relación existente en las variables: precipitación, temperatura, humedad relativa y brillo solar con algunos parámetros físico-mecánicos del suelo como son: humedad; pesos unitarios; límites de Atterberg, cohesión y fricción, con el objeto de establecer un modelo predictivo del comportamiento mecánico de los suelos y la potencial predicción de la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

El proyecto propone un seguimiento en donde se pueda parametrizar de manera periódica el comportamiento mecánico de los suelos y poder, a partir de la medición y obtención de algunos parámetros físico-mecánicos, establecer un modelo geotécnico predictivo de la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa que pueda aplicarse en el territorio municipal por parte de las entidades que conforman el sistema municipal para la prevención y atención de desastres.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Interrogante fundamental:

¿Qué relación existe entre algunas propiedades físico-mecánicas y la variación climática en períodos cortos (6 meses) y períodos largos (12 meses), que pueda considerarse como un condicionador de las propiedades geotécnicas de los suelos?

Con un relieve montañoso producto de las ramificaciones de la cordillera central Dosquebradas se encuentra ubicada en la parte central del eje cafetero; cubierto por una espesa capa de materiales piroclásticos (cenizas volcánicas), como consecuencia de erupciones volcánicas; y con una precipitación media anual de 3102 mm, es un municipio altamente vulnerable a procesos de remoción en masa; siendo este el segundo evento después de las inundaciones que más han afectado al municipio según estudios de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER y la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres de Pereira OMPAD, a demás está localizada en la denominada ZONA DE ALTO RIESGO SÍSMICO (INGEOMINAS, 1998).

EVENTOS EN DOSQUEBRADS	
EVENTO	# EVENTOS REPORTADOS
Deslizamientos	149

Fuente: CARDER-OMPADE. Inventario Histórico de Desastres del Municipio de Dosquebradas 1933-2002. 2003.

Dichos eventos han sido consecuencia de grandes precipitaciones que se presentan en la región, que conjuntamente con eventos sísmicos desestabilizan las estructuras de suelo. Regularmente el municipio debe afrontar grandes cargas económicas por cuenta de los deslizamientos que día tras día produce efectos desastrosos en cuanto a viviendas e infraestructura vial y catastrófica cuando se pierden vidas humanas, como muestra el Inventario Histórico de Desastres del Municipio de Dosquebradas (CARDER-OMPADE, 1933-2002.2003).

Habitualmente los deslizamientos en el municipio de Dosquebradas se han tratado de una manera correctiva (evaluación, causas y medidas para corregir los posibles detonantes de tales eventos). Desafortunadamente y a pesar de los tratamientos

(reconfiguración geométrica, sistemas de drenaje, empradización) que en la actualidad se le brindan a los taludes, estos han sido insuficientes para detener la inestabilidad que presentan; ya que después de un tiempo de haberse tomado las medidas pertinentes, con frecuencia se siguen presentando problemas de deslizamientos en superficies inclinadas (taludes), como consecuencia de un mal diseño o una insuficiente evaluación de los componentes del suelo, que van desde el estudio de las rocas hasta la composición mineralógica; siendo estos factores o condicionantes importantes para la estabilidad de un suelo y mucho más si se trata de superficies inclinadas (taludes).

## 2. OBJETIVOS

### 2. 1. OBJETIVO GENERAL

Establecer las relaciones existentes entre los parámetros físico-mecánicos clásicos en taludes compuestos por cenizas volcánicas, y las variaciones climáticas en períodos cortos (6 meses), que pueda considerarse como un condicionador de las propiedades y estabilidad geotécnica de los suelos.

### 2. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar de manera periódica los parámetros geomecánicos de taludes conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas en el talud ubicado en la vía La Romelia-Santa Rosa.
- Caracterizar las columnas estratigráficas tipo de los taludes objeto de estudio, conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas, y evaluar periódicamente algunas propiedades físico-químicas de los suelos arcillosos y los parámetros clásicos utilizados en los análisis de estabilidad de taludes en el talud localizado en la vía La Romelia-Santa Rosa.
- Configurar una base de datos climatológica local que permita establecer relaciones entre las diferentes variables a evaluar.
- Establecer las relaciones existentes entre parámetros físico-geomecánicos clásicos y la variabilidad climática en períodos cortos (6 meses), en taludes conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas en el talud ubicado en la vía La Romelia-Santa Rosa.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Conforme lo muestra el historial de Desastres del Municipio de Dosquebradas para el periodo 1933-2002, realizado en el marco del convenio Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres de Dosquebradas (OMPADE) y Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), se tiene que los deslizamientos ocupa el segundo renglón después de las inundaciones; siendo este el evento que más ha golpeado la localidad con un total de 149 sucesos, que han generado un gran impacto social, generando como consecuencia desde problemas a diferentes comunidades hasta la pérdida de vidas humanas. De igual forma se ha visto afectada la infraestructura, que a la vez trae enormes cargas económicas para el municipio. El historial de tales eventos se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Desastres del Municipio de Dosquebradas 1933-2002. 2003**

<b>EVENTO</b>	<b># EVENTOS REPORTADOS</b>	<b>%</b>
Inundación	252	37.39
<u>Deslizamiento</u>	<u>149</u>	<u>22.11</u>
Incendio	84	12.46
Vendaval	82	12.17
Plaga	34	5.05
Estructura	28	4.15
Forestal	2	0.30
Lluvia	13	1.93
Avenida torrencial	11	1.63
Granizada	6	0.89
Contaminación	5	0.74
Explosión	3	0.45
Accidente	2	0.30
Tempestad	2	0.30
Epidemia	1	0.15
TOTAL	674	100

**Fuente: CARDER-OMPADE.**



Debido a los constantes deslizamientos que se han presentado en el eje cafetero especialmente en el municipio de Dosquebradas, las autoridades locales se han visto en la necesidad de implementar estudios geotécnicos direccionados a diagnosticar las potenciales causas de la ocurrencia de los procesos de remoción en masa que han impactado la localidad. A pesar de todos estos esfuerzos que se han realizado por parte de dichas autoridades, dichos estudios no han presentado resultados fructíferos; pues la utilización de los métodos numéricos para la estabilización de taludes, no soportan de manera definitiva todos los elementos técnicos necesarios de considerar en el comportamiento geotécnico de taludes conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas. Como consecuencia de estos inconclusos resultados ha cobrado gran interés el obtener mejores resultados en cuanto la estabilidad de superficies inclinadas (taludes) compuestos por material piroclástico (ceniza volcánica), a partir de las relaciones existentes entre las variables climáticas locales, y los parámetros físico-mecánicos clásicos.

De esta manera se propone pues tratar el tema que concierne a la ocurrencia de procesos de remoción de masa (deslizamientos), que tendrá como beneficiarios la Universidad Libre Seccional Pereira y el CLOPAD Dosquebradas, a demás de ser un tema muy interesante a la CARDER y al municipio de Dosquebradas en especial; pues a partir de esta investigación se pretende esclarecer las causas que provocan tales eventos; y hacer un preciso diagnostico de las condiciones geotécnicas de los suelos derivados de piroclastos (cenizas volcánicas). Generando esto el fortalecimiento de los programas en lo que tiene que ver con la disminución de factores que sean un condicionante a la potencial ocurrencia de procesos de remoción de masa (deslizamientos) en el municipio de Dosquebradas, a través de un modelo predictivo que pueda servir como un anunciador de tales eventos.

#### **4. ANTECEDENTES**

Según el Manual de Mineralogía (Klein, 1998), basado en la obra de J. Dana, la “arcilla es un término petrográfico, y, como la mayoría de las rocas, está constituida por un cierto número de diferentes minerales en proporciones variables; algunos de ellos con partículas muy pequeñas. La palabra arcilla se emplea con referencia a un material de grano fino, terroso, que se hace plástico al ser mezclado con algo de agua... y que son, en esencia, silicatos aluminicos hidratados”.

En el mismo sentido, en Suelos de Colombia (IGAC, 1995) se hace referencia a la alteración de las cenizas volcánicas en el territorio colombiano, y en particular en la denominada región andina. Los principales comentarios asociados al modelo evolutivo de las cenizas volcánicas enfatizan en la generación de suelos definidos por un proceso específico denominado “andolización” y a partir del cual se reconocen suelos del tipo andosolesalofánicos, en donde la presencia de alófanos, imogolita y humus es significativamente dominante, comparativamente con arcillas de tipo haloisítico, gibsítico y caolinítico.

De igual manera IGAC (1995) plantea para el caso particular de las arcillas, las siguientes propiedades mecánicas:

##### **Plasticidad**

Entendida como la característica propia de los minerales arcillosos y debido a su forma laminar, al pequeño tamaño y por ende a su gran superficie expuesta específica. Whitlaker (1939) afirma que la plasticidad de las arcillas es inversamente proporcional al tamaño de grano, es decir, directamente proporcional a su superficie específica. El estado de plasticidad ocurre cuando la capa de agua adsorbida sobre la superficie de los minerales arcillosos alcanza un espesor determinado. Gracias al agua adsorbida entre las capas es posible el deslizamiento de unas sobre otras o su desplazamiento relativo por efecto de fuerzas externas, lo cual establece una condición de plasticidad. Se utiliza para la determinación del estado plástico de materiales arcillosos los Límites de Atterberg, el cual relaciona los contenidos de agua necesarios de adicionarse para que las arcillas alcancen una consistencia de plasticidad o de fluidez.

## **Expansibilidad y compresibilidad**

El humedecimiento de muestras secas de minerales arcillosos produce macroscópicamente un incremento de su volumen denominado expansión de arcillas. Es pues el resultado específico del agua que forma capas monomoleculares sobre las superficies externas e internas de los cristales o rellena poros y cavidades entre partículas. Entre el grupo de las arcillas, las montmorillonitas son fuertemente expansibles, ya que su red cristalina acepta capas de agua entre sus láminas. La expansibilidad de las arcillas depende de su composición mineralógica y de la capacidad de intercambio catiónico de las mismas. Las arcillas más expansibles contienen sodio como catión de cambio y para medir tal expansibilidad se utiliza el cálculo del coeficiente de expansión lineal (COLE), que resulta ser la diferencia entre la longitud de una muestra húmeda y la misma seca al horno.

## **Propiedades de las arcillas secas**

El secado de las arcillas por evaporación del agua libre que contienen cambia radicalmente sus propiedades, con pérdida de su plasticidad, transformándose en sustancias duras y compactas de significativa resistencia mecánica, pero presentando fenómenos de contracción y fracturamiento. Las propiedades de las arcillas secas están condicionadas por su textura y estructura y también por la proporción de minerales arcillosos y su composición.

Las principales propiedades que presentan las arcillas en estado seco son su resistencia mecánica a la compresión, fragmentación y flexión.

Por otra parte, INGEOMINAS (1999), en su informe técnico-científico del terremoto del Quindío (sismo del 25 de enero de 1999) presenta los análisis de microestructura de las cenizas volcánicas del Municipio de Armenia, debido a sus repercusiones sobre el comportamiento físico de las mismas. Afirma dicho informe que geotécnicamente el comportamiento de las cenizas volcánicas en el municipio de Armenia fue bueno, no obstante algunas fallas encontradas en taludes y cortes viales, obviamente asociados a los efectos dinámicos del evento sísmico. Enfatiza adicionalmente sobre la importancia de la estructura de los materiales denominados “piroclastos de caída”, definida ésta como la combinación entre la cementación y la fábrica, la cual hace referencia al arreglo y distribución física de las partículas del suelo. La aparición de estructura en un suelo, se debe a la combinación del origen de éste (residual, transportado o remoldeado), de manera que al depositarse en un ambiente determinado el suelo o roca tienen una estructura inicial, la cual puede cambiar debido a factores químicos y físicos que ocurran en el sitio de depositación, los cuales ocasionan la formación de la estructura final del suelo (Mitchell, 1996).

La importancia de los suelos alofánicos (suelos derivados de la meteorización de piroclastos) estriba en el hecho de que las alófanos pertenecen a una clase particular de materiales que las hacen distintas de los otros suelos. Las características de la estructura, los vacíos en particular, determinan las propiedades físicas, ocurriendo cambios volumétricos debido al secado, los cuales son irreversibles. Maeda y otros (1977) concluyen que la matriz del suelo cambia, y que el suelo alofánico seco puede considerarse como otro material, con un comportamiento físico distinto al suelo natural a la humedad natural. Esta característica es crítica a la hora de definir las propiedades mecánicas de las alófanos, repercutiendo en la caracterización de laboratorio, desde los resultados de las pruebas de clasificación (Límites de Atterberg y granulometrías), hasta la manera como se deben interpretar los resultados de ensayos de compactación.

Dicho informe técnico plantea complementariamente que el comportamiento mecánico de las alófanos se ve muy afectado por los cambios ambientales, incluyendo la temperatura y la humedad relativa. Tal modelo de comportamiento, en el cual se conocen la estructura del material y los cambios de resistencia debido a los fenómenos ambientales, permite explicar de manera simplificada algunos comportamientos “in situ” de las cenizas volcánicas en determinados rangos de humedad, como puede ser el caso de los taludes que al estar expuestos a procesos de desecación y agrietarse, y ante la ocurrencia de un aguacero fallan.

El estudio concluye que los trabajos de Forero-Dueñas (1998) concuerdan con las descripciones del comportamiento mecánico, y la textura o apariencia física de los suelos alofánicos, a nivel mundial, que hacen Maeda y otros (1977) con los cambios irreversibles de las alófanos, ubicándolas como un grupo separado y especial de materiales: “las alófanos sufren cambios extremos, cambiando de plásticas en estado húmedo, a arenosas en estado seco”.

En la Revista Internacional de Desastres, Accidentes e Infraestructura Civil (volumen 6, número 2, Noviembre de 2006), A. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina, plantean de manera general que puede decirse que la estructura, el estado de esfuerzos y el flujo del agua en cualquier tipo de suelo, cambian cuando éste es expuesto a los ciclos intensos de secado y humedecimiento propios de las condiciones climáticas del trópico. Estos cambios afectan las propiedades físicas y el comportamiento mecánico del suelo, lo cual puede conducir a problemas de tipo geotécnico (p.e. erosión, inestabilidad de taludes, etc.).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia están ubicados en regiones en las que se presenta un régimen bimodal de lluvias durante en Abril-Mayo y Octubre-Noviembre y entre estas etapas, períodos muy secos.

Durante períodos de escasa precipitación y elevada temperatura, se presenta alta evaporación del agua en los poros del suelo produciendo su desecación. La evaporación produce contracción e incremento de las fuerzas de succión en suelos finos (limos y arcillas), para los estados de saturación completa o parcial saturación, respectivamente.

La desecación evoluciona ocasionalmente hacia la formación de grietas. Estas grietas pueden entenderse como una consecuencia de los esfuerzos de tensión producidos por la desecación. Grietas en la superficie del suelo conforman zonas susceptibles a problemas de erosión e inestabilidad, frecuentemente observados en taludes con poca cobertura vegetal, expuestos continuamente a procesos de desecación.

Por otra parte, durante los períodos húmedos, caracterizados por lluvias permanentes e intensas, el agua infiltrada reduce los efectos capilares y ocasiona cambios volumétricos que pueden llevar al hinchamiento o colapso de la estructura del suelo. En general, estos cambios son tridimensionales pero no necesariamente isotrópicos, debido a que la conductividad hidráulica es predominantemente anisotrópica en suelos naturales. Las grietas preexistentes en el suelo, comúnmente generadas por el proceso de desecación, tienden a cerrarse en estos períodos, debido al avance del humedecimiento del suelo. Las grietas cerradas conforman zonas débiles, susceptibles de abrirse con gran facilidad en futuros períodos secos.

En cuanto a la compactación, criterio que implica la aplicación de un procedimiento por medio del cual se reducen los vacíos del suelo con el fin de obtener una estructura más rígida, con mayor resistencia y menor compresibilidad y permeabilidad, se ha concluido que en los suelos derivados de cenizas volcánicas la aplicación de este criterio ha llevado a resultados disímiles respecto a los que son convencionalmente encontrados. Estos resultados disímiles son controlados por el grado de secado y remoldeo aplicados al material (Townsend, 1985; Wesley, 2003).

La curva de compactación de suelos derivados de cenizas volcánicas altamente meteorizados puede variar considerablemente con el secado del material (Wesley, 2003). Cuando el suelo está en sus condiciones in situ (i.e. alta humedad y baja densidad), el máximo de densidad seca en la curva de compactación no es apreciable y consecuentemente tampoco lo es la humedad óptima. Este comportamiento es gobernado por la contracción del suelo.

Esto implicaría que el suelo natural, caracterizado por tener una estructura cementada altamente porosa y capaz de alojar grandes cantidades de agua, se densificará ante la reducción de la humedad. La densificación es controlada por la cementación; mientras que ésta permanezca, el aumento de la densidad

por la reducción de la humedad será muy bajo para un rango amplio de humedades.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas presentan cambios fuertes e irreversibles en compactación debidos a desecación. Cuando estos suelos han sido secados y rehumedecidos, la curva de compactación en laboratorio se asemeja a la encontrada tradicionalmente, en la cual es claramente identificado el punto de máxima densidad seca y humedad óptima. Este comportamiento es posiblemente debido a la pérdida irreversible del agua retenida por los minerales arcillosos que caracterizan los suelos de origen volcánico (alofana, imogolita y haloisita) y los consecuentes cambios de volumen.

El grado de remoldeo impuesto al suelo durante la compactación, representado por la energía aplicada, es una variable que gobierna la densidad y propiedades resistivas resultantes de los suelos derivados de cenizas volcánicas. Los resultados presentados por Wesley (2003) indican la reducción de la resistencia con el incremento del número de golpes.

En el caso particular de la estabilidad de taludes, los autores del artículo plantean que la cementación y la succión son factores importantes que contribuyen a la resistencia cortante del suelo y a la estabilidad natural de taludes de gran altura e inclinación, comúnmente observados en suelos derivados de cenizas volcánicas.

En Colombia, taludes naturales en suelos de cenizas volcánicas alcanzan alturas estables entre 10 m y 20 m de altura con pendientes superiores a 60° (Forero et al., 1999; Redondo, 2003). A pesar de esto, los taludes son susceptibles a inestabilidad, erosión y agrietamiento dependiendo de las condiciones climáticas y cobertura vegetal.

La falla de taludes debida a lluvias es causada por fuerzas desestabilizantes incrementadas por la infiltración del agua y la reducción de la resistencia cortante debido a la pérdida de succión.

Según estudios realizados en Colombia. Mayorga (2003) desarrolla con el apoyo del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) en Colombia una metodología a través de la cual se analiza la lluvia como factor detonante de los deslizamientos y su resultado es aplicado en el modelo de pronóstico que utiliza el IDEAM, el cual consiste en determinar la interrelación de los umbrales de lluvia con la susceptibilidad del terreno.

En el análisis de la lluvia como el mayor agente desencadenante de los deslizamientos, es importante considerar el efecto que ésta tiene en su generación, partiendo del estudio de dos parámetros de dicho fenómeno (la cantidad de precipitación caída en los días previos y la caída en el día de

ocurrencia del deslizamiento). Es decir, después de varias lluvias fuertes puede ocurrir un deslizamiento, pero si esto no sucede, con dichas lluvias se han creado las condiciones propias para su ocurrencia, ya que el suelo alcanza un nivel alto de saturación de agua. En estas condiciones, si se presenta una lluvia (la del día del evento), por escasa que ésta sea, puede hacer alcanzar los umbrales de inestabilidad del suelo que provocan el deslizamiento.

El número promedio de eventos catastróficos naturales que ocurren al año en Colombia, según Henríquez, 1992 (en Castellanos, 1996) es de cincuenta, la mayoría de ellos ocurridos en épocas lluviosas. En él, también se concluye que el 33% corresponde a inundaciones súbitas o muy rápidas, el 25% a deslizamientos o avalanchas durante épocas lluviosas y el 17% a inundaciones lentas; a éstos le siguen otros eventos como son: crecientes, sequías, terremotos y tornados.

En Colombia, las causas de los eventos desastrosos son meteorológicas en un 96% y concuerdan con su régimen pluviométrico, el cual es uno de los más abundantes del mundo. El 56% de dichas causas se le atribuyen a la lluvia prolongada, el 37% a lluvias intensas pero de corta duración y en menor porcentaje a las tormentas tropicales o huracanes (Castellanos, 1996).

El Eje Cafetero está localizado en una zona tropical que presenta grandes cambios climáticos por cambios de altitud y tiene un régimen climático bimodal dado por dos períodos húmedos y dos períodos secos. La zona recibe una precipitación anual variando entre 1500 mm y 2250 mm. Deslizamientos superficiales (profundidad < 1.5m) son usualmente activados en períodos de intensas lluvias, Abril-Mayo y Octubre-Noviembre, en los cuales la precipitación acumulada durante uno (Terlien, 1997) o dos días (Cuadros y Sisa, 2003) supera los 70 mm. Estos deslizamientos tienen una superficie plana y frecuentemente se presentan en tajadas. Deslizamientos de mayor profundidad (profundidad: 3 – 10 m) se producen con una precipitación detonante inferior a 50 mm, cuando la precipitación acumulada precedente supera 200 mm (Terlien, 1997). La superficie de estos deslizamientos es plana y de forma irregular definida por el contacto entre la capa de suelos derivados de cenizas volcánicas y la capa que la subyace, compuesta por materiales de origen vulcano-detrítico ligeramente meteorizados.

De igual manera que las intensas precipitaciones, la actividad sísmica se considera importante causa de deslizamientos en suelos derivados de cenizas volcánicas. El movimiento dinámico del suelo durante un sismo produce el incremento de la presión de poros y la generación de esfuerzos desestabilizantes. Estos esfuerzos pueden romper los enlaces cementados que unen las partículas y consecuentemente llevar al colapso de la estructura. Durante el movimiento sísmico se pueden desprender materiales (e.g. de grietas preexistentes) que se acumulan en la pata del talud.

En general, los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia presentan valores de SPT menores que 10 y usualmente variando entre 4 y 8, lo cual corresponde a suelos muy sueltos. Aunque los bajos valores del SPT indican tradicionalmente que el suelo es muy compresible, esta interpretación en el caso de los suelos derivados de cenizas volcánicas merece ser analizada cuidadosamente. Es importante reconocer que el ensayo de penetración estándar induce elevados esfuerzos dinámicos que no representan de manera realista los esfuerzos in situ y las deformaciones que induce son demasiado elevadas, especialmente en el caso de estos suelos que presentan baja compresibilidad en el rango de esfuerzos próximo al esfuerzo in situ.

Consecuentemente, estos valores bajos del SPT son atribuidos a cambios en la estructura abierta y húmeda del suelo debidos a la perturbación y remoldeo durante la penetración dinámica (Failmezger et al., 1999).

En el texto Ingeniería Geológica, L.I. González de Vallejo, M. Ferrer y Carlos Oteo (2002), plantean la relación entre composición mineralógica y micro fábrica de las arcillas y sus propiedades geotécnicas.

Para tales efectos definen que las arcillas son materiales geotécnicamente problemáticos al depender su comportamiento de la composición mineralógica y de las condiciones geoquímicas y ambientales del medio. Estos factores con frecuencia sufren alteraciones. La composición mineralógica de las arcillas es el factor que mayor incidencia ejerce sobre las propiedades geotécnicas como la plasticidad, resistencia, compresibilidad, cambio de volumen, etc.

De igual manera se menciona que otro de los factores influyentes en las propiedades geotécnicas de los materiales arcillosos es la fábrica o micro fábrica del suelo, definida ésta como el ordenamiento o disposición espacial de las partículas, al grupo de partículas, sus poros, discontinuidades y demás elementos presentes en el suelo. La fábrica está directamente relacionada con el grado de orientación de los elementos del suelo, su porosidad y densidad, y condiciona otras propiedades de gran importancia en ingeniería como la resistencia, la compresibilidad y la permeabilidad.



**Tabla 2. Microfábrica de arcillas y propiedades geotécnicas**

TIPO DE FÁBRICA	POROSIDAD	RESISTENCIA	COLAPSIBILIDAD	SUSCEPTIBILIDAD	IMPLICACIONES GEOTÉCNICAS
Turbostrá tica o regular	Baja	Muy alta	No	No	Característica de arcillas sobreconsolidadas  Planos de discontinuidad en profundidad
Laminar u orientada	Muy baja	Dependiente de la orientación	No	No	Planos de rotura según orientaciones preferentes  Presencia de discontinuidades profundas
Panal de abeja	Alta	Alta en estado inalterado. Muy baja en estado remoldeado	Posible	Muy alta	Suelos inestables con formación de deslizamientos tipo flujo  Arcillas rápidas
Esqueletal	Muy alta	Baja	Posible	Alta	Suelos meteorizados y residuales Rápida alteración en taludes Suelos inestables

Oolítica o nodular	Baja	Alta	Baja	Alta	Anomalías en los resultados de los ensayos de identificación y en otras propiedades de los suelos tropicales
--------------------	------	------	------	------	--

**Fuente: Ingeniería Geológica (página 99)**

Forero Dueñas (1999), en el estudio de la estructura de las cenizas volcánicas de Armenia y su relación con el comportamiento geotécnico, concluye en lo relacionado a los suelos alofánicos y su estructura: “como se mencionó anteriormente el difícil manejo que presentan los suelos alofánicos y su amplia distribución en la región andina que es donde se asienta la mayor parte de la población de nuestro país, lo hace objeto ineludible e interesante de estudio por parte de los investigadores de suelos y especialistas en el área de ingeniería civil, ya que debido a comportamiento se ubican como un grupo de manejo especial” y las cenizas volcánicas son parte de los suelos alofánicos, término genérico que en la literatura mundial hace referencia a aluminosilicatos hidratados no cristalinos “estos materiales que sufren cambios volumétricos y estructurales durante el secado, los cuales son irreversibles. En estado seco se comportan como otro material”.

Finalmente, según la gran enciclopedia de los minerales (1989) la alófana presenta las siguientes propiedades:

**Tabla 3. Propiedades Físicas Y Generalidades De Las Alófanos**

PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA Y/O VALOR
Dureza	3
Raya	Blanca
Color	blanco, verde azul, amarillo, pardo
Transparencia	transparente, translúcido
Brillo	vítreo, graso, céreo
Exfoliación	no tiene
Fractura	Concoidea

Morfología	costras, estalactitas
Densidad	1,9
Sistema cristalino	no se conoce
Luminiscencia	blanca, crema, verde, parda amarillenta
Composición química	variable $Al_2(SiO_5)_n H_2O$
Propiedades generales	se disgrega al soplete, pero no funde; en HCl da una solución gelatinosa de $SiO_2$
Génesis	Secundaria
Paragénesis	halloysita, limonita
Yacimientos	bastante raros

**Fuente: Gran Enciclopedia de los Minerales (1989)**

Podría concluirse, según los antecedentes referidos, que la generalidad de las investigaciones en suelos alofánicos se han concentrado en su deformación, a partir del reconocimiento de los parámetros mecánicos y su incidencia en la compactación y respuesta ante sollicitaciones sísmicas y capacidad portante. Tal apreciación se confirma con los estudios de INGEOMINAS (1999) y el adelantado por A. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina (2006), en donde se hace un especial énfasis en los procesos y cuidados de compactación de los suelos derivados de cenizas volcánicas debido a su comportamiento atípico. Las técnicas constructivas aplicadas en las regiones que presentan suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia se basan en el control del esfuerzo de compactación y la simulación de las propiedades in situ. La experiencia en la utilización de estos materiales en obras geotécnicas ha llevado a aplicar una ligera compactación, suficiente para reducir grandes vacíos y no más de la necesaria para evitar destruir la estructura natural del suelo e inducir ablandamiento.

## 5. MARCOS DE REFERENCIA

### 5. 1. MARCO TEÓRICO

Para realizar de manera eficaz un trabajo de investigación es importante conocer el contexto que lo rodea, por esta razón este Marco Teórico será lo suficientemente amplio, en el cual se referirán los conceptos más significativos de los Parámetros Físico-Mecánicos y la Relación de estos con respectos a Variables Climáticas.

#### 5. 1. 1 El Contenido De Humedad De Los Suelos.

Esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos, por la cantidad de agua que contienen. El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en términos de porcentaje. En Japón se han registrado contenidos de humedad de más de mil por ciento, esto indica grandes problemas de suelo debido a que el peso del agua supera quince veces el peso del material sólido.

#### 5. 1. 2 Límites De Atterberg.

Cuando a un suelo arcilloso se le mezcla cierta cantidad excesiva de agua, este puede fluir como un *semilíquido*. Si el suelo es secado gradualmente se comportará como un material *plástico, semisólido o sólido*, dependiendo de su contenido de agua. Éste, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como *límite líquido (LL)*. Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se define como el *límite plástico (PL) y el límite de contracción (SL), respectivamente*. Éstos se denominan *límites de Atterberg*<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>BRAJA M. DAS, Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición 1999. Pág. 15.16.

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. El nombre de estos es debido al científico sueco Albert Mauritz Atterberg. (1846-1916).

➤ El *límite líquido* de un suelo es determinado por medio de la copa Casagrande (Designación de Prueba D-4318 de la ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de ½ pulgada (12.7 mm) mediante 25 golpes.

➤ El *límite plástico* se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de (3.18 mm) de diámetro (Designación de Prueba D-4318 de la ASTM).

La diferencia entre el límite líquido y el plástico de un suelo se define como *índice de plasticidad (PI)*<sup>2</sup>, o

$$PI = LL - PL$$

#### 5. 1. 2. 1 Estados De Consistencia.

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales uno solo, el debido a Atterberg. El cual hizo ver que, en primer lugar, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente. En segundo lugar, Atterberg hizo ver que la plasticidad de un suelo exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en lugar de uno solo, como hasta su época se había creído; además, señaló esos parámetros y un modo tentativo, hoy perfeccionado, de evaluarlos.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg.

1. Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
2. Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
3. Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
4. Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.

---

<sup>2</sup>BRAJA M. DAS, Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición 1999. Pág. 15-16.

5. Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con secado.

Los anteriores estados son fases generales por las que pasa el suelo al irse secando y no existen criterios estrictos para distinguir sus fronteras. El establecimiento de éstas ha de hacerse en forma puramente convencional. Atterberg estableció las primeras convenciones para ello, bajo el nombre general de límites de consistencia<sup>3</sup>.

#### 5. 1. 2. 2 Límite Líquido.

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la Cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que la zanja que previamente se ha recortado, se cierra en una longitud de 12 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre la zanja es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido. Dado que no siempre es posible que la zanja se cierre en la longitud de 12 mm exactamente con 25 golpes, existen dos métodos para determinar el límite líquido: - graficar el número de golpes en coordenadas logarítmicas, contra el contenido de humedad correspondiente, en coordenadas normales, e interpolar para la humedad correspondiente a 25 golpes. La humedad obtenida es el Límite Líquido. - según el método puntual, multiplicar por un factor (que depende del número de golpes) la humedad obtenida y obtener el límite líquido como el resultado de tal multiplicación.

#### 5. 1. 2. 3 Límite Plástico.

La prueba para la determinación del límite plástico, tal como Atterberg la definió, no especifica el diámetro a que debe llegarse al formar el cilindro de suelo requerido. Terzaghi agregó la condición de que el diámetro sea de 3 mm (1/8"). La formación de los rollitos se hace usualmente sobre una hoja de papel totalmente seca, para acelerar la pérdida de humedad del material; también es frecuente efectuar el rolado sobre una placa de vidrio. Cuando los rollos llegan a los 3 mm, se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en tal momento se determinará rápidamente su contenido de agua, que es el límite plástico<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup>JUAREZ BADILLO, RICO RODRÍGUEZ. Mecánica de Suelos Tomo 1. México Limusa 2005. Pág. 12.

<sup>4</sup>JUAREZ BADILLO, RICO RODRÍGUEZ. Mecánica de Suelos Tomo 1. México Limusa 2005. Pág. 133.

### 5. 1. 3 Granulometría De Los Suelos.

El análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas que lo componen. Existen diferentes procedimientos que permiten conocer la distribución granulométrica de un suelo ya que este posee diferente tamaño, van desde los grandes que son los que se pueden tomar fácilmente con las manos, hasta los granos pequeños, los que no se pueden ver con un microscopio.

Los análisis granulométricos se efectuarán mediante ensayos en el laboratorio con tamices de diferente enumeración, dependiendo de la separación entre los cuadros de la maya. Los granos que pasen o se queden en el tamiz tienen sus características ya determinadas.

Para el ensayo o el análisis de granos gruesos será muy recomendado el método del tamiz; pero cuando se trata de granos finos este no es muy preciso, porque se le es más difícil a la muestra pasar por una maya tan fina; Debido a esto el análisis granulométrico de granos finos será realizado por medio de lavado en el tamiz 200, este método se utiliza cuando el material es fino es decir contiene gran cantidad de limos y arcillas o cuando el material granular tiene contenido de finos<sup>5</sup>.

### 5. 1. 4 Ensayo Corte Directo.

La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga.

Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades.

Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de con finamiento ( $P_v$ ) y luego una carga horizontal ( $P_h$ ) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra<sup>6</sup>.

### 5. 1. 5 Compresión simple.

Tiene por finalidad, determinar la resistencia a la compresión no confinada ( $q_u$ ), de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo, e indirectamente la resistencia al corte ( $q_c$ ), Este cálculo se basa en el hecho de que el esfuerzo principal menor es

---

<sup>5</sup> J. W. CORREA. Informe Ensayos Granulares. Universidad de Santander. Facultad de Ingeniería Civil.

<sup>6</sup> U. Católica de Valparaíso. Laboratorio de Mecánica de Suelos. Guía para Laboratorio Corte Directo.

cero (ya que al suelo lo rodea sólo la presión atmosférica) y que el ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) del suelo se supone cero.

Debido a numerosos estudios, se ha hecho evidente que este ensayo generalmente no proporciona un valor bastante confiable de la resistencia al corte de un suelo cohesivo, debido a la pérdida de la restricción lateral provista por la masa de suelo, las condiciones internas del suelo como el grado de saturación o la presión de poros que no puede controlarse y la fricción en los extremos producidas por las placas de apoyo. Sin embargo, si los resultados se interpretan adecuadamente, reconociendo las deficiencias del ensayo, estos serán razonablemente confiables.

En el ensayo de compresión simple se pueden producir distintos tipos de rotura, los cuales son la rotura frágil y la rotura dúctil. En la primera predominan las grietas paralelas a la dirección de la carga, y la rotura ocurre de un modo brusco y bajo deformaciones muy pequeñas, presentándose después de ella un desmoronamiento de la resistencia. En la segunda la muestra se limita a deformarse, sin que aparezcan zonas de discontinuidad en ella. De forma intermedia, la rotura se produce a través de un plano inclinado, apareciendo un pico en la resistencia y un valor residual<sup>7</sup>.

#### 5. 1. 6 Sistema Unificado De Clasificación De Los Suelos (USCS).

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos fue originalmente propuesto por A. Casagrande en 1942 y después revisado y adoptado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el Cuerpo de Ingenieros. Este sistema se usa en prácticamente todo trabajo de geotécnica<sup>8</sup>.

Este sistema divide los suelos primero en dos grandes grupos, de granos gruesos y de granos finos. Los primeros tienen más del 50 por ciento en peso de granos mayores que 0,08 mm; se representan por el símbolo G si más de la mitad, en peso, de las partículas gruesas son retenidas en tamiz 5 mm, y por el símbolo S si más de la mitad pasa por tamiz 5 mm.

Los suelos finos, con más del 50 por ciento bajo tamiz 0,08 mm, se dividen en tres grupos, las arcillas (C), los limos (M) y limos o arcillas orgánicos (O). Estos símbolos están seguidos por una segunda letra que depende de la magnitud del límite líquido e indica la compresibilidad relativa: L, si el límite líquido es menor a 50 y H, si es mayor.

---

<sup>7</sup>U. Católica de Valparaíso. Laboratorio de Mecánica de Suelos. Guía para Laboratorio Compresión Simple.

<sup>8</sup> BRAJA M. DAS, Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta Edición 1999. Pág. 19.



### 5. 1. 7 Relación Existente Entre Los Movimientos En Masa Y Las Lluvias.

El agua es el factor que más comúnmente se le asocia con las fallas de los taludes en zonas tropicales, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos y el control del agua subterránea es uno de los sistemas más efectivos para la estabilización de deslizamientos<sup>9</sup>.

De acuerdo a lo anterior la región del eje cafetero y en especial el municipio de Dosquebradas no es ajena a este fenómeno natural que se presenta en la región, al estar ubicada en medio de trópicos; donde la precipitación promedio es superior que en el resto del globo. La infiltración es tal vez la consecuencia de mayor influencia en la desestabilización de taludes, que al momento de saturar los vacíos la masa de suelo pierde resistencia al corte, ocasionando así estos catastróficos eventos. Es así como en numerosos estudios se ha comprobado que el movimiento de un talud puede depender de la ocurrencia de lluvias. Para la falla de un talud puede requerirse una época de lluvias muy larga o puede ser suficiente un solo aguacero. El estudio de la precipitación para analizar su efecto sobre los taludes puede realizarse desde varios puntos de vista<sup>10</sup>.

#### 5.1.7.1 Lluvias promedio y máximas anuales.

Generalmente, las áreas de mayor precipitación anual presentan mayores problemas de estabilidad de laderas, acuíferos colgados con mayores caudales de flujo subterráneo y materiales más meteorizados.

#### 5.1.7.2 Régimen de lluvias.

Cada región posee un sistema de lluvias que se repite en forma similar cada año. Es común encontrar áreas donde ocurren dos períodos de lluvia con dos períodos secos, o una sola temporada de lluvias con un período seco. En la mayoría de las zonas tropicales el período de los meses de Diciembre y Enero es seco. El régimen de lluvias de una región determinada puede ser diferente al de un sitio específico dentro de la misma región, especialmente en zonas de alta montaña y

---

<sup>9</sup>JAIME SUAREZ D. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. B/manga, Colombia 1998. Pág. 233.

<sup>10</sup>JAIME SUAREZ D. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. B/manga, Colombia 1998. Pág. 233.

se debe en lo posible, obtener la información precisa de las lluvias en el sitio del talud a estudiar.

#### 5.1.7.3 Aguaceros Torrenciales.

Es común en las zonas de montaña, la ocurrencia de aguaceros de gran magnitud en un período de tiempo de una o pocas horas (Figura 7.2). En el factor precipitación se debe tener en cuenta la intensidad de la máxima lluvia o de las lluvias más fuertes en una hora, en un día, mes o año y en algunas ocasiones la cantidad de lluvia en períodos menores a una hora.

Debe diferenciarse el caso de zonas de precipitación alta permanente, en las cuales el nivel de agua freática es alto y constante y un corte del terreno puede producir la falla casi inmediata del talud; y el caso de lluvias esporádicas o épocas de lluvias intensas, en donde el suelo no saturado es saturado de repente, produciéndose la falla<sup>11</sup>.

### 5. 1. 8 Relación Entre Los Deslizamientos Y La Lluvia Acumulada.

Castellanos & González (1997), explican que: “antes de ocurrir el movimiento la ladera se encuentra en equilibrio y presenta un nivel freático dado por las lluvias anteriores y el ciclo hidrológico imperante en la región. Inicialmente el agua que cae como precipitación se convierte en interceptación, retención de humedad y humedad del suelo, luego comienzan a aparecer las componentes debidas al movimiento del agua dentro del suelo como son el flujo subsuperficial (por encima del nivel freático) y el agua subterránea (por debajo del nivel freático); al mismo tiempo se genera la escorrentía. La escorrentía ocasiona erosión superficial; el flujo subsuperficial introduce la fuerza de infiltración y provoca erosión interna o tubificación , el ascenso del nivel freático por aumento del agua subterránea satura los materiales que conforman la ladera, aumenta la presión de poros y disminuye los esfuerzos efectivos; el aumento de humedad elimina las tensiones capilares y las presiones de poros negativas; y todas las componentes del agua precipitada sobre la ladera aumentan el peso de la masa, favoreciendo de esta manera la ocurrencia de movimientos si el factor causante de los deslizamientos es la precipitación, la cantidad e intensidad necesarias para que ocurra el movimiento depende en cada caso de las condiciones iniciales de la humedad y del nivel freático de la zona, los cuales están claramente relacionadas con las

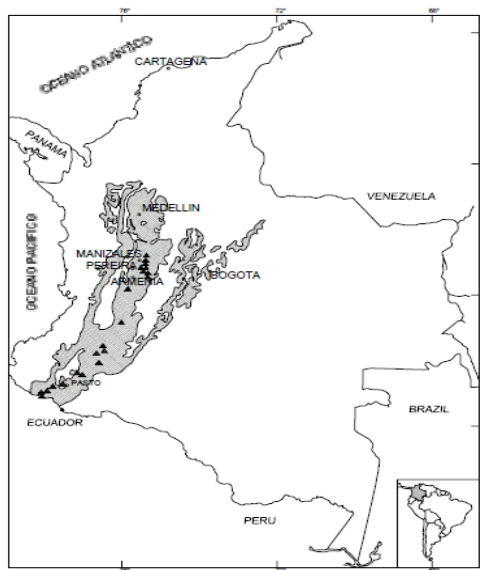
---

<sup>11</sup>JAIME SUAREZ D. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. B/manga, Colombia 1998. Pág. 235.

lluvias precedentes. De aquí la importancia de la precipitación acumulada en la desestabilización de la ladera.

#### 5. 1. 9 Localización Y Distribución De Las Cenizas Volcánicas En Colombia.

Los suelos de cenizas volcánicas representan aproximadamente el 0,84% de los suelos a nivel global y se localizan predominantemente en regiones tropicales (Quantin, 1986; Shoji et al., 1993). Los depósitos de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia ocupan cerca del 11,6% del territorio y se localizan en regiones de importante crecimiento demográfico y económico. Estos suelos se extienden desde el Eje Cafetero (departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda y Quindío) en el centro del país, hasta los departamentos de Tolima, Cauca y Nariño hacia el sur oeste del mismo. En regiones del oriente de Colombia, como Bogotá y los Llanos Orientales, se han encontrado depósitos de estos suelos, distribuidos aleatoriamente, sin que presenten un patrón definido. La Figura 3 muestra la distribución de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia y la ubicación de los principales volcanes<sup>12</sup>. (A. Lizcano, M.C. Herrera<sup>3</sup> y J.C. Santamarina).

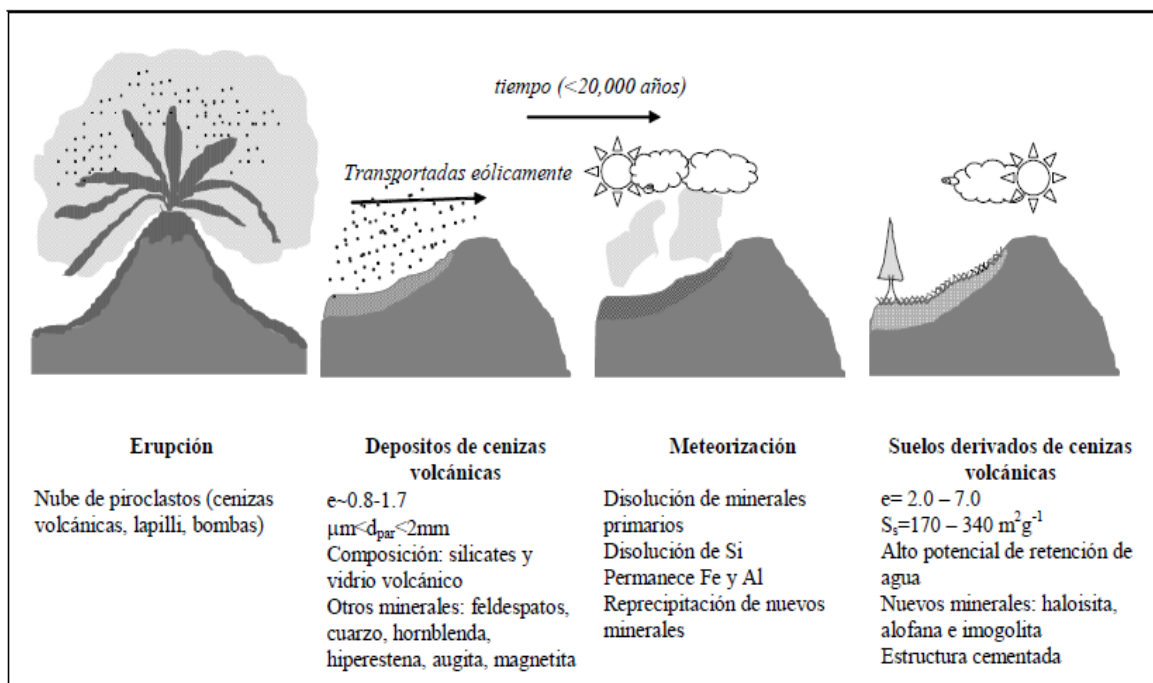


**Figura 1. Distribución espacial de los volcanes (▲) y de los suelos derivados de cenizas volcánicas (área achurada) en Colombia (modificado de IGAC, 1995). Cerca del 12% del territorio nacional está cubierto por estos suelos.**

<sup>12</sup> MARÍA CRISTINA HERRERA ARDILA. Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en Colombia. Bogotá, 2006. Pág. 168.

## 5. 1. 10 Formación De Suelos Derivados De Las Cenizas Volcánicas.

El proceso de formación de los suelos de cenizas volcánicas se presenta en la Figura 2. Éste proceso inicia con la generación de una nube de piroclastos durante la erupción volcánica, conformada por partículas de diámetro inferior a 2 mm, conocidas como cenizas volcánicas. En Colombia, las cenizas volcánicas que dieron origen a los suelos emanaron durante las erupciones del complejo de volcanes Ruiz-Tolima en el Holoceno y Pleistoceno (recientes 20.000 años) del período Cuaternario<sup>13</sup>. (Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina).



**Figura 2. Formación De Los Suelos Derivados De Cenizas Volcánicas.**

## 5. 2. MARCO CONCEPTUAL

**Contenido de humedad:** El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o

<sup>13</sup>MARÍA CRISTINA HERRERA ARDILA. Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en Colombia. Bogotá, 2006. Pág. 169.

"agua libre", en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

**Límite líquido (LL):** El contenido de agua, en porcentaje, de un suelo que se encuentra en la frontera, definida arbitrariamente, entre los estados semilíquido y plástico.

**Límite plástico (LP):** El límite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona.

**Consistencia:** La facilidad relativa con la cual un suelo puede ser deformado.

**Suelo plástico:** Suelo que presenta un comportamiento plástico en un intervalo definido de contenido de humedad y que mantiene su forma al secarse.

**Índice de plasticidad (IP):** Intervalo del contenido de humedad en el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

**Estado semilíquido:** Estado en el que el suelo se comporta con las propiedades de un fluido viscoso.

**Estado plástico:** Fase en la que el suelo se comporta plásticamente.

**Estado semisólido:** Etapa en el que el suelo tiene la apariencia de sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto ha secado.

**Estado sólido:** Fase en que el volumen del suelo no varía con secado.

**Granulometría:** Es la distribución de los diferentes tamaños de las partículas de un suelo, expresado como un porcentaje en relación con el peso total de la muestra seca.

**Coefficientes de uniformidad:** Definido originalmente por Terzaghi y Peck, se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo. Se expresa como la relación entre D60 y D10.

**Angulo de fricción:** Se define a la fricción como una fuerza resistente que actúa sobre un cuerpo, que impide o retarda el deslizamiento de este respecto a otro o en la superficie que este en contacto.

**Peso específico:** El peso específico de una sustancia es el peso de la unidad de volumen. Se obtiene dividiendo un peso conocido de la sustancia entre el volumen que ocupa.

**Cohesión:** Es la propiedad que permite en el caso de una arcilla o una mezcla moldeable, dar forma a una muestra que permanece unida, experimento evidente imposible con las arenas puras que son prototipos de suelos sin cohesión.

**Climatología:** Es la parte de la Meteorología que se ocupa del estudio del tiempo pasado en los diferentes lugares de la Tierra, utiliza las herramientas de las estadísticas para determinar los valores centrales, particularmente la Media o Promedio de las diferentes variables meteorológicas con las cuales se pueden clasificar los Climas.

**Lluvia acumulada:** Esta se puede definir como la sumatoria de las precipitaciones en mm de lluvia en un periodo de tiempo, que cae sobre determinada superficie.

**Precipitación:** En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo.

**Temperatura:** Es una medida de la intensidad del calor y se puede medir con un termómetro o un calorímetro. Es un medio para determinar la energía interna contenida en el sistema.

**Humedad relativa:** La humedad relativa es una medida del contenido de humedad del aire y, en esta forma, es útil como indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia convectiva. No obstante, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento.

**Talud:** Se designa como talud a cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanente las estructuras de tierra.

**Estratos:** Son capas del mismo material y pueden ser gradacionales; su estudio permite descifrar de una forma precisa la historia de los eventos que han ocurrido durante su formación a lo largo del tiempo geológico.

**Los suelos:** Son las capas de materiales meteorizados que se encuentran encima de las rocas frescas. Las capas superiores son las más ricas en materias orgánicas, minerales arcillosos, aluminio y óxidos de hierro.

**Ceniza volcánica:** Es una composición de partículas de roca y mineral muy finas (de menos de 2 milímetros de diámetro) eyectadas por un viento volcánico. La ceniza se genera a partir de la roca cuarteada y separada en partículas diminutas durante un episodio de actividad volcánica explosiva.

**Caolinita:** Las arcillas de este grupo son poco plásticas, los caolines son la clase de arcilla más apetecible en la industria, por sus aplicaciones. Estas pueden tener origen residual, transportado o coluvial.

**Montmorillonita:** Estas arcillas se originan por alteración de minerales ferromagnesianos, feldespato cálcico y vidrio volcánico. Los materiales de este grupo se caracterizan porque aumentan varias veces su volumen en contacto con el agua o el alcohol.

**Micas hidratadas o illitas:** Estas arcillas se originan por descomposición de las micas, la illita es un nombre genérico utilizado para designar a los minerales micáceos de la arcilla.

### 5. 3. MARCO LEGAL

Las normas que se muestran a continuación, reglamentan el accionar del Estado y de las entidades responsables del desarrollo municipal, la prevención y reducción de riesgos, cuya esencia principal es el de proteger la vida y el patrimonio de los ciudadanos, las cuales utilizamos como referencia para la investigación.

**Tabla 4. Leyes y Decretos**

<b>Ley/decreto</b>	<b>Obligaciones en términos de incorporación de la Prevención y Reducción de Riesgos en la planificación territorial</b>
Constitución Política de 1991	La Constitución Política reglamentó entre otras disposiciones: Las autoridades de la República están instituidas para proteger a todas las personas residentes en Colombia, en su vida, honra, bienes, creencias, y demás derechos y libertades y para asegurar el cumplimiento de los deberes sociales del Estado y de los particulares.
<b>En cuanto al riesgo</b>	
Ley 46 de 1988	Por el cual se crea el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – SNPAD
Decreto Ley 919 de 1989	Por la cual se establece la obligatoriedad de trabajar en prevención de riesgos naturales y tecnológicos especialmente en disposiciones relacionadas con el ordenamiento urbano, las zonas de alto riesgo y los asentamientos humanos y se organiza el Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres, determinando las responsabilidades, estructura organizativa, mecanismos de coordinación e instrumentos de planificación y

	financiación del Sistema a escala Nacional, Regional y Local.
Decreto 93 de 1998	Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, el cual define los objetivos, principios, estrategias y programas de la Política Nacional
<b>En cuanto al diseño de estabilidad de taludes</b>	
Norma técnica sismo resistente NSR 2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TITULO A Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente</li> <li>- Titulo H Estudios Geotécnicos</li> </ul>

<b>En cuanto al Desarrollo y el Ordenamiento Territorial</b>	
Ley 09 de 1989 de Reforma Urbana	<p>Por la cual definió la responsabilidad de las autoridades municipales en cuanto a la seguridad de los habitantes de las zonas urbanas ante los peligros naturales, estableciendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-La obligatoriedad a los municipios con la asistencia de Las oficinas de Planeación de levantar y mantener actualizado el inventario de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos (inundación, deslizamiento).</li> <li>-La obligatoriedad de adelantar programas de reubicación de los habitantes, o proceder a desarrollar las operaciones necesarias para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas,</li> </ul>
Ley 02 de 1991	Por la cual se modifica la Ley de Reforma Urbana estableciendo que los municipios deben no solo levantar sino mantener actualizados los inventarios de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos y que los alcaldes contarán con la colaboración de las entidades pertenecientes al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, para desarrollar las operaciones para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas.
Ley 388 de 1997	<p>Ley de Desarrollo Territorial cuyos objetivos en cuanto al riesgo son:</p> <p>“Establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, la prevención de localización de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo”</p> <p>“Garantizar que la utilización del suelo por parte los propietarios</p>



	<p>se ajuste a la función social de la propiedad y permita hacer efectivos los derechos constitucionales a la vivienda, así como la protección del medio ambiente y la prevención de desastres”</p> <p>“Función Pública del Urbanismo: Mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales”</p> <p>“Acción Urbanística: Determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para localización de asentamientos humanos por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda”.</p> <p>“Localizar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención y atención de desastres...”</p>
Ley 810 de 2003	Modifica el artículo 104 de la Ley 388 de 1997, referente a las sanciones urbanísticas, entre ellas por construcciones en zonas de alto riesgo.
Ley 812 de 2003	Por el cual se establece el Plan Nacional de Desarrollo – PND 2002-2006 “Hacia un Estado Comunitario”, que en su capítulo III “Construir Equidad Social” Programa de “Prevención y Mitigación de Desastres Naturales” determinó: 1) La profundización del conocimiento sobre los riesgos naturales y su divulgación; 2) inclusión de la prevención y mitigación de riesgos en la planificación y la inversión territorial y sectorial, y 3) la reducción de la vulnerabilidad financiera del Gobierno ante desastres.

**Tabla 5. Leyes y Decretos**

<b>En cuanto al Desarrollo y al Ordenamiento Territorial</b>	
Decreto 879 de 1998	Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los Planes de Ordenamiento Territorial. Se tendrán en cuenta las prioridades del Plan de Desarrollo del municipio o distrito y los determinantes establecidos en normas de superior jerarquía entre los que se encuentra: Las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales.
Decreto 4002 de 2004	Por el cual se establece que teniendo en cuenta razones de excepcional interés público o de fuerza mayor o caso fortuito, el alcalde municipal o distrital podrá iniciar el proceso de revisión del plan, las cuales serán: La declaratoria de desastre o calamidad pública y por los resultados de estudios técnicos detallados sobre amenazas, riesgos y vulnerabilidad que justifiquen la recalificación de áreas de riesgo no mitigable y otras condiciones de restricción diferentes a las inicialmente

	adoptadas por el POT.
<b>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA PARA LABORATORIOS DE SUELOS</b>	
NTC 1495	Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa.
NTC 4630	Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos.
NTC 1522	Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.
NTC 1527	Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión confinada de suelos cohesivos.
NTC 1917	Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas.
<b>Marco Normativo a Nivel Local</b>	
Decreto 558 de 1989	Se constituye el Comité Local de Emergencias para el municipio de Pereira
Acuerdo 18 de 2000	Plan de Ordenamiento Territorial (zonas de riesgo art. 43 a 47; 198; 221 a 230 y 423 a 424)
Decreto 386 de 2000	Se reglamenta la zonificación sísmica en el municipio de Pereira
Decreto 486 de 2003	Por el cual se incorporan al Plan de Ordenamiento Territorial los inventarios de viviendas en zonas de riesgo del municipio de Pereira (zona urbana) y de la cabecera urbana del corregimiento de Altagracia clasificadas como de riesgo confirmado, riesgo en estudio y riesgo potencial)

## 6. DISEÑO METODOLÓGICO

### 6. 1 TIPO DE ESTUDIO

Con el propósito de garantizar el logro del objetivo general, y consecuentemente de las metas asociadas a los objetivos específicos, se plantea y propone el siguiente esquema metodológico:

#### 6. 1. 1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se pretende adelantar la investigación propuesta mediante el tipo explicativo-correlacional y/o explicativo-predictivo. Tales tipos de estudio sugieren la identificación de las siguientes variables:

- $\varphi$  = ángulo de fricción
- $\gamma$  = pesos unitarios
- C = cohesión
- $\omega$  = contenido de humedad
- Clasificación granulométrica de muestras
- Límites de Atterberg
- Factor de seguridad
- Columna estratigráfica generalizada de cada sitio de estudio.

### 6. 2 DESCRIPCION DEL AREA GENERAL DE ESTUDIO.

#### 6. 2. 1 Aspectos Geológicos.

##### **Geología**

Los materiales que corresponden al lugar de estudio cuya presentación es algo diversificada, están constituidos por materiales del Terciario y el Cuaternario en donde se desarrolló en la Cordillera Central un intenso vulcanismo debido a intensa actividad de los volcanes Azufra, Chiles, Galeras, Doña Juana, Sotará, Cerro Negro, Puracé, El Ruiz, Tolima y Huila. Estos materiales están constituidos por: Flujo de Lodo Volcánico (Qfl) y por el Grupo Arquía (Kiea).

Estos materiales tienen como origen los grandes eventos eruptivos de la cadena volcánica de la Cordillera Central que se inicio a finales del mioceno y se ha prolongado hasta el pasado histórico, combinado con la acción fluvial que removía el material volcánico depositado durante el mismo periodo.

## **Geomorfología**

La zona se encuentra enmarcada entre las cotas 1350 y 2150 m.s.n.m., en donde los accidentes orográficos más importantes son los de El Toro, El Oso, La Cruz y El Nudo; estos cerros presentan laderas largas de pendiente fuerte; en su base, delimitan el sector del valle de Dosquebradas, donde descansa la parte urbana. Entre estas morfologías se destacan las colinas onduladas de pendientes suaves que conforman el piedemonte cordilleral. El cinturón montañoso delimita en forma semicircular hacia el este, norte y occidente la microcuenca, que es abierta hacia el sur. La hoya hidrográfica de la Quebrada Dosquebradas forma así un valle intramontano, con un frente amplio en la parte sur demarcado por el escarpe de Río Otún<sup>14</sup>.

El análisis de las pendientes permite la visualización de zonas con diferente grado de inclinación; enmarca a su vez las diferentes unidades litológicas, que muestran determinado comportamiento respecto a la inclinación del terreno, con base también en la presencia de procesos erosivos. Duque y Pareja, 1992, realizaron este análisis morfométrico de acuerdo a 9 categorías, que relacionados con la información de campo permitieron categorizar seis rangos de pendientes en forma definitiva:

*Rango 1 (de 0 a 10%):* Corresponde a este rango la zona plana de la microcuenca compuesta en su mayoría por la unidad fluvio - volcánica, los depósitos fluvio - lacustres y los depósitos aluviales, con cobertura de cenizas volcánicas. Comprende la parte centro - sur del área, donde se ubica la mayor parte de la zona urbana.

*Rango 2 (de 10 a 20%):* Pendiente moderada, donde se encuentran los depósitos de flujo y depósitos de vertiente. Este rango marca el límite entre los depósitos de flujo, entre el abanico y la parte media.

*Rango 3 (de 20 a 30%):* Pendiente media. Se presenta la mayor densidad de terrenos con pendiente en este rango en la microcuenca de la Quebrada Agua Azul, sin ser excluyentes a otras partes del área, y se asocian con movimientos de las capas superficiales.

---

<sup>14</sup>CARDER. Base Ambiental para la Formulación del Plan de Prevención y Atención de Desastres del Municipio de Dosquebradas. Pereira, 2000. Pag.13-18.

*Rango 4 (de 30 a 50%):* Rango de pendiente fuerte donde disminuye considerablemente la cobertura de cenizas volcánicas, corresponde a saprolitos y roca fresca; los depósitos desaparecen a partir de este rango.

*Rango 5 (de 50 a 75%):* Zona escarpada donde se observan procesos erosivos gravitatorios. El material corresponde a saprolito y roca fresca. Se encuentra más concentrado en la zona sur oriental de la microcuenca.

*Rango 6 (mayor del 75%):* Zona muy escarpada, donde abundan los procesos erosivos gravitatorios, esta zona es de especial cuidado, considerada en su totalidad como de conservación<sup>15</sup>.

## 6. 2. 2 Uso Y Cobertura Actual Del Suelo.

### Usos Del Suelo

En cuanto a la cobertura y uso de la tierra en el Municipio de Dosquebradas, el café es el principal uso con una extensión de 1.636,6 ha que representa el 23.19% en lo referente a los cultivos permanentes y semipermanentes.

El bosque secundario representa el 20.32%, así mismo se identifica un área de bosque plantado con 87,6 ha (1.24%).

**Tabla 6. Actualización del Mapa de Uso y Cobertura Departamento de Risaralda. 2006.**

USO	AREA (Ha)	% en Uso
Bosque Natural	57.7	0.82
Bosque Plantado	87.6	1.24
Bosque Secundario	1434.2	20.32
Café	1636.6	23.19
Consociación Café-Frijol	3.5	0.05
Consociación Café-Maíz	11.4	0.16
Consociación Café-Plátano	489.2	6.93
Consociación Café-Plátano Pasto Manejado	373.3	5.29

**Fuente: CARDER-Red de Universidades Públicas del Eje Cafetero Alma Mater.**

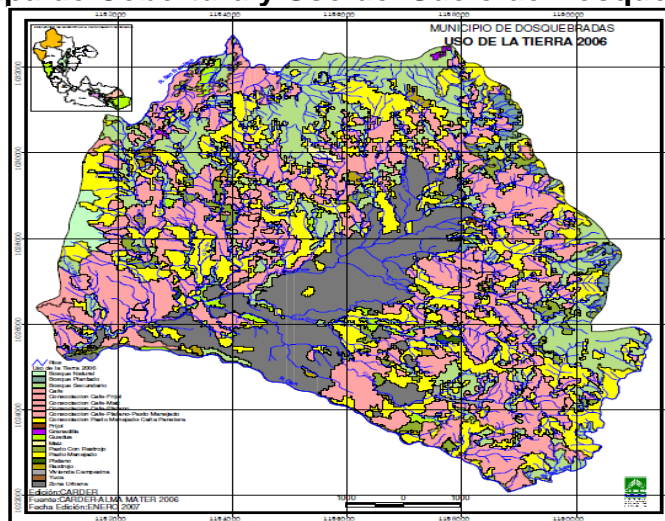
<sup>15</sup>CARDER. Base Ambiental para la Formulación del Plan de Prevención y Atención de Desastres del Municipio de Dosquebradas. Pereira, 2000. Pág.13-18.

**Tabla 7. Actualización del Mapa de Uso y Cobertura Departamento de Risaralda. 2006.**

USO	AREA (Ha)	% en Uso
Consociación Pasto Manejado-Caña Panelera	3.1	0.04
Frijol	1.7	0.02
Granadilla	5.8	0.08
Guadua	105.1	1.49
Maíz	10.8	0.15
Pasto con Rastrojo	203.8	2.89
Pasto Manejado	1544.1	21.88
Plátano	10.3	0.15
Rastrojo	47.6	0.67
Vivienda Campesina	11.8	0.17
Yuca	4.6	0.06
Zona Urbana	1015.5	14.39
<b>TOTAL</b>	<b>7057.7</b>	<b>100.0</b>

**Fuente: CARDER-Red de Universidades Públicas del Eje Cafetero Alma Mater.**

**Figura 3 Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de Dosquebradas. 2006.**

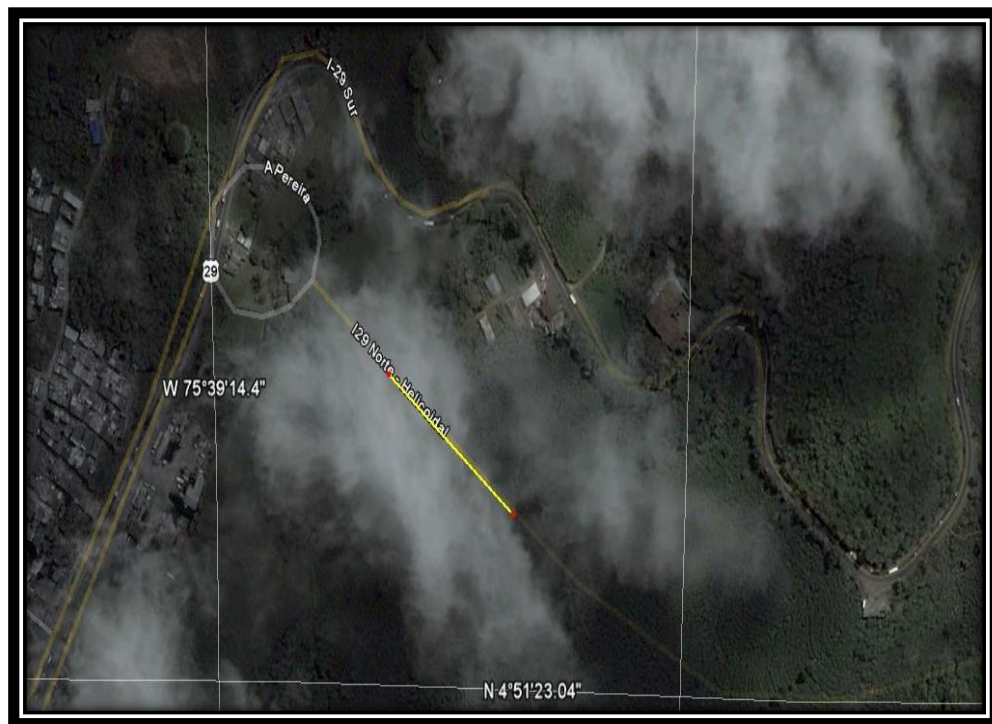


**Fuente: CARDER-Alma Mater.**

### 6. 2. 3 Forma De La Pendiente del talud de estudio de La Romelia.

La pendiente en el talud de estudio que se encuentra ubicado a unos 100 metros de la Glorieta La Romelia que sirve de retorno hacia el municipio de Dosquebradas, se caracteriza por ser uniforme debido a factores antrópicos, con cobertura vegetal, originada a partir de un corte y adecuación del terreno en la construcción de la vía nacional I29 del Puente Helicoidal.

**Figura 4. Foto aérea Vía I29 Norte Puente Helicoidal. Talud Inicio doble calzada La Romelia-Santa Rosa**



**Fuente: GOOGLE EARTH. 2011.**

**Figura 5. Talud De Estudio Forma De La Pendiente**



**Vía I29 Norte Puente Helicoidal. Talud Inicio doble calzada La Romelia-Santa Rosa**

#### 6. 2. 4 Estratigrafía General del Área de Estudio

En el Municipio de Dosquebradas afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de edades cretáceas a terciarias. Además de las unidades rocosas aflorantes, también se observan diversos tipos de depósitos cuaternarios que se describirán de acuerdo con su origen; la información aquí consignada obedece a las descritas por Duque y Pareja, 1992 e Ingetec - Hydra, 1996, corregida con base en las unidades descritas en el Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Risaralda, INGEOMINAS, 1993.

**Diabasas (Formación Barroso).** Cuerpo de rocas constituido por diabasas masivas de color verde y textura variable entre afanítica y ligeramente porfirítica. Esta unidad atraviesa en dirección NS y NNE - SSW el borde occidental de la cuenca de la Quebrada Dosquebradas, siendo la que ocupa más área de todas las unidades en la cuenca. Hacia el norte de la cuenca, está dispuesta en contacto fallado con los esquistos de Lisboa - Palestina (Complejo Arquía), mientras que



hacia el SW el contacto, también fallado, es con el cinturón de gabros de Pereira - Santa Rosa.

**Cinturón de Gabros de Pereira - Santa Rosa.** Cinturón de rocas gabroicas, que cruza la cuenca de la Quebrada Dosquebradas por su costado oriental y en dirección NNE - SSW, con una anchura de aproximadamente 1 km.

**Esquistos de Lisboa - Palestina (Complejo Arquía).** Este nombre fue usado por Mosquera (1978) para describir las rocas metamórficas que, en la región estudiada, están localizadas al oeste del Sistema de Fallas de Romeral. En los afloramientos ubicados en la cuenca de la Quebrada Dosquebradas, la unidad consiste en esquistos cuarzo grafiticos, esquistos sericíticos y filitas, con intercalaciones de rocas verdes diabásicas con desarrollo de foliación. En la cuenca de la Quebrada Dosquebradas esta unidad se pincha hacia el Sur<sup>16</sup>.

**Rocas sedimentarias (Complejo Quebradagrande).** En la parte norte central de la cuenca sobre la carretera al Alto El Chaquiro y en la Vereda Filo Bonito, aflora un paquete de rocas sedimentarias compuesto por chert, shales carbonosos, limolitas y grauvacas, el cual hace parte de la secuencia sedimentaria del Complejo Quebrada Grande.

Este paquete, es intruido por el Pórfido Dacítico de Pereira y se encuentra en contacto fallado con las rocas del Complejo Arquía.

**Pórfidos Dacíticos de Pereira.** Dos cuerpos de origen ígneo hipoabisal se encuentran en la parte norte de la cuenca de la Quebrada Dosquebradas. Ellos, corresponden a un pórfido dacítico que intruye las rocas diabásicas de la Formación Barroso. La meteorización de estos cuerpos genera un suelo limoarenoso de varios metros de espesor y de muy baja cohesión.

**Depósitos de flujos de lodo volcánico (Depósitos fluvio - volcánicos).** Esta es la más antigua de todas las unidades cuaternarias en la cuenca y se encuentra descansando discordantemente sobre las unidades ígneas y metamórficas que forman el basamento de la región; a la vez, es suprayacida por los depósitos más recientes de cenizas volcánicas, coluviones y depósitos aluviales dejados por la Quebrada Dosquebradas y sus tributarios.

Los depósitos de lodo se originaron en la parte alta de la cordillera, durante el tiempo que los volcanes se mantuvieron activos, y se acumularon en las partes bajas de la cordillera, donde los cambios de pendiente favorecieron su depositación.

Este tipo de depósitos se encuentran en ambos lados de la cordillera y a diferente altura topográfica, pero generalmente con características similares como son: la presencia de lodo como matriz, la abundancia de clastos de origen volcánico,

---

<sup>16</sup>CARDER. Base Ambiental Para La Formulación Del Plan De Prevención Y Atención De Desastres Del Municipio De Dosquebradas. Pereira, 2000. Pág. 13-18.

generalmente fragmentos de dacitas y andesitas porfídicas, la presencia de diferentes niveles de turberas y ser matriz - soportados, más que clastoportados<sup>17</sup>.

**Flujos de Lodo.** Posteriormente a la depositación de la unidad anterior, por el carácter fragmental de ella y como consecuencia de altas condiciones de humedad, combinada posiblemente con eventos sísmicos, grandes masas de cenizas y roca se desplomaron y movieron pendiente abajo en estado semisólido hasta alcanzar posiciones topográficas menos pendientes. Están compuestos por bloques, cantos y guijarros rodeados totalmente por una matriz compuesta por arena, limo y arcilla. Su edad relativa se determinó principalmente por el grado de disección.

**Valle Relleno de Dosquebradas.** Como consecuencia de uno de los flujos mencionados, se represó la Quebrada Dosquebradas cambiando drásticamente las condiciones topográficas y la cuenca cambió su carácter de erosivo a deposicional. Las condiciones semilacustres así formadas permitieron la depositación de una secuencia de arcillas y gravas cuyo espesor se desconoce. Los estratos de arcillas tienen de dos a tres metros de espesor máximo, color gris, altamente impermeable, muy plástica y relativamente expansiva. Los horizontes de grava se componen de cantos y guijarros de 5 a 20 cm de diámetro rodeados de una matriz esencialmente arenosa no cohesiva. Su edad obtenida por análisis radiométrico de C14 es mayor de 37.600 años, al menos para los horizontes superiores.

**Abanico de la Quebrada Manizales.** Debido a la espesa acumulación de cenizas volcánicas en las zonas pendientes de la Quebrada Manizales, los drenajes que forman la cuenca de esta quebrada transportaban gran cantidad de material, que al llegar al valle de Dosquebradas se depositó formando este pequeño abanico. El material que la compone es una arcilla limosa y plástica de color crema moteado blanco, resultado de la meteorización de cenizas y fragmentos de pómez originales, con ocasionales guijarros y bloques altamente meteorizados. La edad de formación es aproximadamente igual a la del valle de Dosquebradas<sup>18</sup>.

**Depósitos de ceniza volcánica.** Están constituidos por cenizas y lapilli de composición calcoalcalina ácida, y se encuentran prácticamente en toda el área, cubriendo las demás litologías. Los espesores son muy variables, dependiendo de la pendiente del terreno en el momento de la depositación, distancia de los volcanes que les dieron origen, orientación de la pendiente y grado de erosión post - deposicional (Naranjo y Estrada, 1995).

---

<sup>17</sup> CARDER. Base Ambiental Para La Formulación Del Plan De Prevención Y Atención De Desastres Del Municipio De Dosquebradas. Pereira, 2000. Pág. 13-18.

<sup>18</sup>CARDER. Base Ambiental Para La Formulación Del Plan De Prevención Y Atención De Desastres Del Municipio De Dosquebradas. Pereira, 2000. Pág. 13-18.

**Flujos de lodo, lahares y terrazas del Río Otún.** Con este nombre se agrupan los depósitos más recientes formados en las márgenes del Río Otún que incluyen lahares, flujos de lodo y terrazas aluviales. Se extienden desde aguas arriba del puente San José, hasta un poco más abajo de la desembocadura de la Quebrada Dosquebradas. La edad del lahar que subyace la mayoría de las terrazas, obtenida por análisis de C14, es de 14.720 años. Estos depósitos se originaron por combinación de efectos fluviales con un componente menor de material volcán

**Depósitos aluviales (Aluvi3n reciente de la Quebrada Dosquebradas).** Estos se localizan a lo largo del curso de los tres principales drenajes (quebradas Dosquebradas, Manizales y Aguazul), donde forman depósitos de llanura de inundaci3n, depósitos de barra de canal y en un alto porcentaje de sus recorridos, el lecho de las mismas corrientes. Están constituidos por secuencias positivas de conglomerados clastoportados, gravas, arenas y limos de llanura de inundaci3n, sin ning3n tipo de compactaci3n. En aquellos sitios donde las corrientes los han cortado se puede apreciar su estratigrafía y la disposici3n en lentes e interdigitaciones, como característica fundamental que permite identificarlos. A lo largo de un buen tramo de la Quebrada Dosquebradas estos depósitos se explotan para obtener materiales de construcci3n.

**Depósitos de abanicos aluviales.** Donde se han conservado, éstos se encuentran localizados en la base de las pendientes más fuertes formando una planicie inclinada en direcci3n de mayor pendiente. Sin excepci3n alguna, todos los abanicos aluviales en la cuenca de la Quebrada Dosquebradas se localizan en aquellos sitios donde hay un cambio brusco de pendiente. Estos depósitos, generalmente, forman una planicie inclinada en direcci3n corriente abajo y están constituidos por clastos de diferente tamaño y composici3n que han sido derivados de las rocas que forman las partes altas de la cuenca, más materiales aluviales, retrabajados por las corrientes durante el tiempo que el abanico estaba activo<sup>19</sup>.

## 6. 2. 5 Identificaci3n Del Comportamiento Sísmico De La Zona.

### 6.2.5.1 Microzonificaci3n Sísmica.

La Microzonificaci3n sísmica de la ciudad consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento dinámico similar, de manera que puedan establecerse allí recomendaciones específicas para el diseño y construcci3n de edificaciones sismo resistentes. Para cada una de las zonas, además de especificarse la fuerza sísmica posible, deben identificarse los tipos de

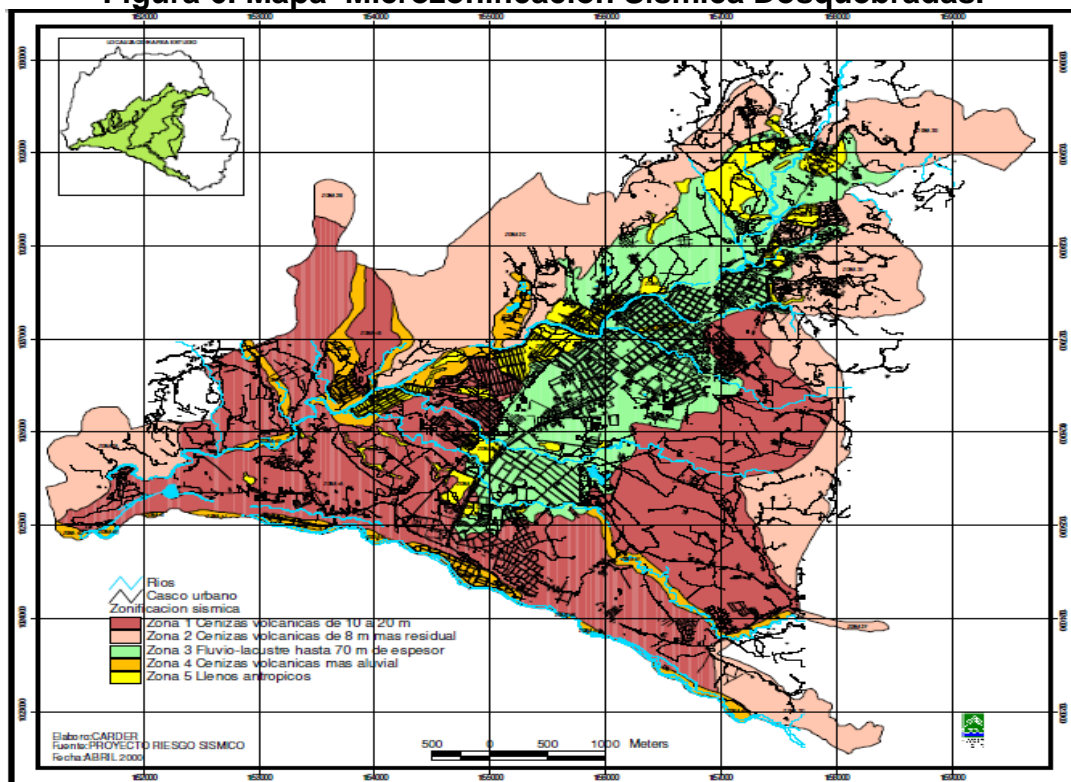
---

<sup>19</sup>CARDER. Base Ambiental Para La Formulaci3n Del Plan De Prevenci3n Y Atenci3n De Desastres Del Municipio De Dosquebradas. Pereira, 2000. Pág. 13-18.

fenómenos asociados que pueden desencadenarse a raíz de las vibraciones del suelo, como son los deslizamientos, la amplificación exagerada del movimiento o la posibilidad de licuación del suelo. La definición de estas zonas se hace con base en criterios geológicos, estratigráficos, espesores y rigidez relativa de los materiales, efectos topográficos, entre otras características de los suelos.

Con base en la Microzonificación Sísmica, la ciudad puede adelantar la planificación de su desarrollo, teniendo en cuenta las restricciones a los tipos de construcción y los parámetros de diseño definidos para las diferentes zonas de la ciudad. La respuesta sísmica en toda la zona de estudio está caracterizada principalmente por la presencia o ausencia de depósitos de cenizas volcánicas superficiales que conforman normalmente depósitos de suelos blandos superficiales. Los depósitos sobre los cuales se apoyan estas cenizas son normalmente depósitos de conglomerados, suelos residuales o suelos de origen aluvial que dadas sus características dinámicas ofrecen en general el contraste de impedancia necesario para considerar que la respuesta dinámica queda controlada por el depósito superficial.

**Figura 6. Mapa Microzonificación Sísmica Dosquebradas.**



**Fuente: PROYECTO RIESGO SISMICO 2000.**

## 6. 2. 6 Descripción Hidro-Climatológica Del Área De Estudio.

### 6. 2. 6. 1 Climatología

Está determinado por la posición del territorio Nacional dentro de las fajas de traslación de la zona de convergencia intertropical (C.I.T.), formada por el enfrentamiento de los vientos Alisios que soplan hacia el Ecuador, desde los centros de las altas presiones subtropicales.

El régimen de lluvias varía entre los 2600 y los 3200 mm anuales aproximadamente. Existe un régimen de meses poco lluviosos cálidos y soleados y otro de meses lluviosos más nublados y fríos, con una temperatura media muy uniforme entre 21 y 22 grados centígrados.

### 6. 2. 6. 2 Temperatura.

Espacialmente, la temperatura media anual presenta unos cambios poco significativos dados las diferencias de alturas presentadas dentro del área municipal. En el sector nor- occidental, en los nacimientos del Río San Francisco, la temperatura media anual es de 20°C y hacia la parte oriental en límites con el Municipio de Santa Rosa de Cabal el promedio de temperatura es de 18°C.

Por lo anterior, en el municipio sólo se presenta el Piso Térmico Medio, que para la zona andina está definido entre los 17 y 22°C.

### 6. 2. 6. 3 Humedad relativa.

Al igual que para las lluvias se tiene una distribución de tipo bimodal con máximos en mayo y noviembre con valores promedio de 79% y mínimos en enero con 71% y febrero con 72%, según datos de las estaciones de apoyo: Aeropuerto Matecaña y La Bohemia.

En el área el porcentaje más alto de humedad relativa se presentan en los meses más lluviosos y los registros más bajos en los meses más secos. En la tarde cuando la temperatura inicia su descenso, la humedad relativa aumenta y a la media noche alcanza su registro cercano a la saturación, el cual se mantiene hasta las primeras horas de la mañana.

A partir de las primeras horas del día cuando la temperatura comienza a aumentar, la humedad relativa disminuye hasta llegar a sus valores mínimos al medio día. La humedad relativa en promedio anual es de 75%.

#### 6. 2. 6. 4 Precipitación.

Los resultados del análisis de lluvia para cuatro (4) estaciones pluviométricas se muestran en la siguiente tabla. Destacándose que la precipitación media anual de Dosquebradas es de 3.102 mm. Además se puede apreciar la precipitación media mensual multianual de este municipio y su distribución bimodal, presentando máximos en abril mayo y octubre- noviembre, siendo estos últimos los más lluviosos.

**Tabla 8. Análisis de lluvia para cuatro estaciones pluviométricas en Dosquebradas**

Estación/mes	El Bosque	La Primavera	La Rosa	Boquerón	
Años análisis	1978-1988 1990-1991 1994-2001	1981-1985	1975-1990	1970-1980	Promedio
# registros					
ENERO	188.7	188.5	158.2	242.4	194.5
FEBRERO	181.3	184.0	158.7	297.8	205.5
MARZO	<b><u>274.4</u></b>	<b><u>213.6</u></b>	<b><u>197.5</u></b>	<b><u>338.0</u></b>	<b><u>255.9</u></b>
ABRIL	<b><u>306.6</u></b>	<b><u>299.2</u></b>	<b><u>312.5</u></b>	<b><u>305.0</u></b>	<b><u>305.8</u></b>
MAYO	305.4	352.7	292.1	375.9	331.5
JUNIO	202.3	183.5	195.0	259.9	210.2
JULIO	162.2	143.6	161.4	229.5	174.2
AGOSTO	170.1	216.0	155.7	285.4	206.8
SEPTIEMBRE	240.0	233.5	215.9	300.0	247.4
OCTUBRE	<b><u>346.8</u></b>	<b><u>366.0</u></b>	<b><u>356.4</u></b>	<b><u>385.5</u></b>	<b><u>363.7</u></b>
NOVIEMBRE	<b><u>321.5</u></b>	<b><u>320.4</u></b>	<b><u>319.0</u></b>	<b><u>358.3</u></b>	<b><u>329.8</u></b>
DICIEMBRE	204.7	160.8	183.3	273.5	205.6
TOTAL	2904.0	2861.8	2705.7	3651.2	3030.7

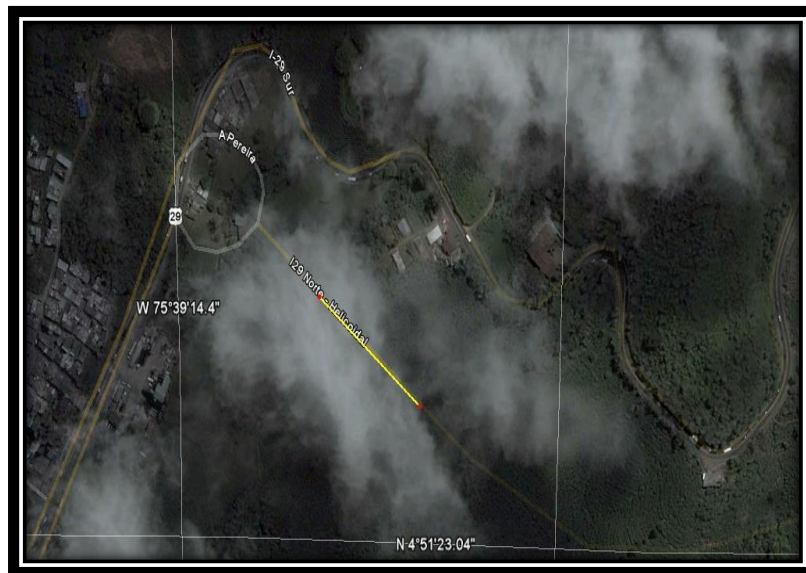
**Fuente: CENICAFÉ. Anuarios Meteorológicos Cafeteros. CARDER-U. DE CALDAS, Evolución Geomorfológica de la Microcuenca de la Quebrada Dosquebradas. 1992.**

### 6. 3. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### **TALUD INICIO DOBLE CALZADA LA ROMELIA-SANTA ROSA.**

El proyecto investigativo descrito se realizará en el talud ubicado en el sector La Romelia (Vía Nacional I29 Norte, inicio acceso doble calzada puente Helicoidal talud a la izquierda vía Dosquebradas-Santa Rosa), aproximadamente a 100 metros de la glorieta que sirve de retorno hacia el municipio de Dosquebradas. Está situado entre las coordenadas geográficas 1.029.000N – 1.029.550 y 1.157.500E – 1.158.500.

**Figura 7. Foto aérea Vía I29 Norte Puente Helicoidal. Talud Inicio doble calzada La Romelia-Santa Rosa**



**Fuente: GOOGLE EARTH. 2011.**

**Figura 8. Foto del Talud de Estudio Inicio doble calzada La Romelia-Santa Rosa. Vía I29 Norte Puente Helicoidal.**



### 6.3.1 Evolución del Entorno, Ocupación y Características Fisiográficas.

El terreno donde se encuentra ubicado el talud proviene de un movimiento de tierras realizado durante el proceso de construcción de las dos calzadas tipo Par Vial entre el K6+150 en el sector denominado La Romelia (vía actual que conduce de Dosquebradas a Santa Rosa de Cabal Ruta 29-02) hasta La Intersección Vial denominada La Postrema (K11+350). Aproximadamente 100 metros después de La Glorieta retorno a Dosquebradas. Los predios donde se encuentra ubicado tal estructura de suelo pertenecían a fincas cafeteras y plataneras siendo estos productos típicos de la región. Esto ha generando un impacto ambiental y visual, como consecuencia de la intervención humana en tales estructuras; cambiando así la topografía del terreno.

### 6.3.2 Proceso para la toma de Muestras Alteradas.

En el talud se realizaron tomas de muestras cada semana iniciando el día 15 de Febrero del 2011 y finalizando el día 15 de Julio del 2011. La recolección de las muestras tuvo una duración de 5 meses, durante la cual se logró obtener una totalidad de 20 muestras alteradas (extraídas de la cara libre del talud), las cuales se extrajeron, todos los días Martes, entre las 6:00 am a las 6:30 am y las 6:00 pm a 6:30 pm; teniendo un intervalo de 12 horas en la toma de muestras. Los puntos de muestreo fueron señalados con estacas ubicadas cada 7.14 metros, a una altura constante de un 1.50 metros en cada punto. Las muestras alteradas se obtuvieron a una profundidad de 80.0 centímetros.



Toda la toma de muestras se realizó siguiendo el procedimiento de rigor en el cual fue necesaria la utilización de papel aluminio y bolsas herméticas. Luego de tomadas las muestras debidamente empacadas y embaladas, se procedió a realizarles los ensayos normativos de contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría por tamizado, ensayo de corte directo.

Respecto a las muestras inalteradas, se realizaron cinco perforaciones en el terreno durante un lapso de seis meses para obtener las muestras. Cada punto de muestreo se tomó dejando 28.56 metros de distancia entre ellos, a profundidades entre 1.5 m, 3.0 m y 4.50 m sobre la corona del talud. Ya debidamente empacadas las muestras, se procedieron a realizar los ensayos normativos de contenido de humedad, límites de Atterberg, granulometría por lavado y tamizado, compresión simple y corte directo (ver anexo Ficha de caracterización), todo esto para la obtención de los datos. El método utilizado para la identificación del suelo fue el de Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (S.U.C.S).

#### 6. 3. 2.1 Mecanismo para la toma de muestras alteradas.

**Figura 9. Proceso mediante el cual se extrae la muestra alterada.**



**Figura 10. Equipo para la toma de muestra alterada.**



**Figura 11. Fotografías de toma y embalaje de muestras.**



La secuencia muestra la manera y el procedimiento de toma de muestras en forma manual. Se procedió de la siguiente manera.

1. Ubicación de estaca en la cara libre del talud.
2. Introducción y extracción del barreno para obtener la cantidad de suelo requerida.
3. Extracción de 800 gr requerido en el espécimen a ensayar según el reglamento técnico del laboratorio.

La muestra recolectada se empaqueta en bolsa con cierre hermético y una porción de 200 gr de esta, que se destina para el contenido de humedad, se envuelve en papel aluminio para evitar la pérdida de humedad durante el transporte desde el lugar de muestreo hasta el laboratorio. Para ello se utiliza la ayuda de una nevera de icopor (Figura 12.) con el fin de obtener un mejor resultado.

**Figura 12. Empaque y Transporte de la muestra.**



Luego de llevadas al laboratorio, el primer ensayo que se realiza es el de contenido de humedad; el resto de la muestra se seca a temperatura ambiente para luego proceder a los ensayos de límites de Atterberg y granulometría.

En esta imagen podemos observar la muestra después de ser sometida y sacada del horno para luego pesarla y así determinar su contenido de humedad.

**Figura 13. Muestras después de ser sacadas al horno 105°C.**



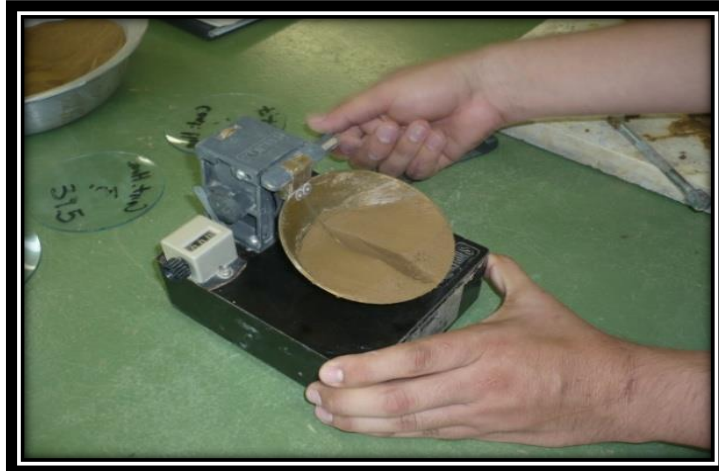
La siguiente imagen permite observar la muestra alterada después de ser secada con una temperatura ambiente.

**Figura 14. Muestra Secada Y Lista Para Ser Sometida A Los Ensayos.**



En la imagen siguiente se observa la muestra moldeada en la copa de casa grande.

**Figura 15. Muestra Sometida Al Ensayo De Casa Grande.**



En la imagen se pueden observar los tamices utilizados en la prueba de tamizado.

**Figura 16. Muestra Sometida Al Ensayo De Tamizado.**



### 6. 3. 3 Procedimiento Para La Toma De Muestras Inalteradas.

Para la obtención de las muestras inalteradas se utilizaron tubos shelby. Estas se tomaron en la berma del talud, a profundidades de 1.50, 3.00 y 4.50 m. como lo podemos apreciar en la fotografías.

**Figura 17. Fotografías Extracción de Espécimen Muestra Inalterada.**



Las muestras se extrajeron del tubo shelby y posteriormente fueron cubiertas con papel aluminio y se guardaron en bolsas herméticas para evitar la pérdida de humedad.

**Figura 18. Fotografías Embalaje y Calibración De La Muestra Inalterada Para Ser Llevada Al Laboratorio.**



Luego fueron llevadas al laboratorio para realizar el ensayo de contenido de humedad, compresión simple, corte directo, límites de Atterberg y granulometría por lavado. El método que se utilizó para la identificación del suelo fue el de SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (S.U.C.S).

En la siguiente imagen podemos observar el equipo para la práctica del ensayo de compresión no confinada con un cilindro ya debidamente preparado.

**Figura 19. Equipo Para Realizar Ensayo De Compresión Simple.**



A continuación se observa el método de lavado en tamiz # 200, el cual servirá para determinar su granulometría.

**Figura 20. Lavado De La Muestra En El Tamiz # 200.**



## **7. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **7.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL TALUD UBICADO EN LA ROMELIA, VIA DOSQUEBRADAS SANTA ROSA.**

Estos parámetros se presentaron mensualmente, con datos tomados en la mañana y en la tarde, esta información contiene las siguientes características: lluvia diaria (mm), contenido de humedad (%), límite líquido (%), límite plástico (%), índice de plasticidad (%), clasificación del suelo (S.U.C.S.) y la identificación de la muestra (ID).

Se aclara que las muestras fueron tomadas cada 12 horas, en la mañana y en la tarde (6:00 a.m. y 6:00 p.m.).

#### **7.1.1 Muestras Alteradas.**

Al desarrollar los ensayos correspondientes a las muestras alteradas, extraídas de las perforaciones tomadas en el talud ubicado en la Romelia, vía Dosquebradas-Santa Rosa, se pudieron determinar los siguientes parámetros geomecánicos.



**Tabla 9. Resultados De Laboratorios Mes De Febrero Jornada De La Mañana.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA											
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	ID		
FEBRERO-2011	1	0,80	17,80											
	2	0,00	18,10											
	3	0,20	17,70											
	4	5,80	17,00											
	5	1,20	17,60											
	6	23,20	18,90											
	7	1,40	17,60											
	8	8,00	17,20											
	9	4,60	17,90											
	10	5,60	17,80											
	11	6,60	17,80											
	12	0,00	17,40											
	13	46,20	17,10											
	14	0,20	17,80											
	15	22,80	17,90		56,00	50,00	38,00	12,00	SP	1,54	0,98	0,4433	PF 1.70 mt	
					55,00	46,00	35,00	11,00	SP				PF 3.30mt	
					66,60	55,00	35,00	19,00	SP	1,53	1,02	0,5503	PF 4.30mt	
	16	76,80	15,40											
	17	11,20	16,60											
	18	0,00	16,20											
	19	0,00	17,10											
	20	0,00	15,70											
	21	0,00	16,80											
	22	0,00	16,20	96,00	55,00	NP	NP	SP						S2-M2
	23	45,00	17,20											
	24	5,00	17,90											
	25	14,40	18,10											
	26	0,20	17,10											
27	10,20	16,40												
28	37,60	16,70												

**Tabla 10. Resumen Estadístico Mes De Febrero Jornada De La Mañana**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (FEBRERO MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo	96,00	22
Contenido de humedad mínimo	55,00	15
Limite plástico máximo	38,00	15
Limite plástico mínimo	35,00	15
Limite liquido máximo	55,00	22
Limite liquido mínimo	46,00	15
Indicé de plasticidad máximo	19,00	15
Indicé de plasticidad mínimo	11,00	15

**Tabla 11. Resultados De Laboratorios Mes De Febrero Jornada De La Tarde.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE										
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kq/cm2)	ID	
FEBRERO-2011	1	0,80	25,90										
	2	0,00	26,50	64,00	68,14	57,70	10,44	MH					
	3	0,20	22,30										
	4	5,80	26,10										
	5	1,20	27,10										
	6	23,20	25,60										
	7	1,40	24,10										
	8	8,00	25,40										
	9	4,60	27,40										
	10	5,60	26,20										
	11	6,60	25,60										
	12	0,00	23,40										
	13	46,20	25,50										
	14	0,20	25,00										
	15	22,80	24,20										
	16	76,80	23,30										
	17	11,20	25,10										
	18	0,00	23,60										
	19	0,00	23,10										
	20	0,00	25,50										
	21	0,00	25,40										
	22	0,00	26,00	88,00	50,00	NP	NP						S2-M2
	23	45,00	25,30										
	24	5,00	25,30										
	25	14,40	25,10										
	26	0,20	23,30										
	27	10,20	24,80										
	28	37,60	23,10										

**Tabla 12. Resumen Estadístico Mes De Febrero Jornada De La Tarde.**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (FEBRERO TARDE)		Día
Contenido de humedad máximo	88,00	22
Contenido de humedad mínimo	64,00	2
Limite plástico máximo	57,70	2
Limite plástico mínimo	57,70	2
Limite liquido máximo	68,14	2
Limite liquido mínimo	50,00	22
Indicé de plasticidad máximo	10,44	2
Indicé de plasticidad mínimo	10,44	2

**Tabla 13. Resultados De Laboratorio Mes De Marzo Jornada De La Mañana.**

MES-AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/cm <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO SECO (Gr/cm <sup>3</sup> )	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm <sup>2</sup> )	ID
MARZO-2011	1	20,00	16,70	58,00	56,00	39,00	17,00	SP				S3-M1
	2	15,80	16,80									
	3	0,20	17,90									
	4	0,00	18,00									
	5	3,20	16,80									
	6	17,40	17,80									
	7	0,00	17,30									
	8	3,20	16,60	43,00	34,00	18,00	16,00	SP	1,43	0,73	0,5919	PF 1.70mt
				107,00	44,00	35,00	9,00	SP				PF 3.30mt
				134,00	51,00	38,00	13,00	SP	1,72	1,23	0,2134	PF 4.30mt
	9	41,40	15,60									
	10	0,60	16,80									
	11	0,00	16,80									
	12	0,00	17,90									
	13	0,00	17,50									
	14	0,00	17,30									
	15	0,80	17,90									
	16	35,40	18,30									
	17	1,80	17,60	80,00	44,00	38,00	6,00	SP				S5-M1
	18	0,00	17,30									
	19	4,20	17,80									
	20	16,00	16,30									
	21	14,40	16,00									
	22	35,20	17,90									
	23	16,20	17,10	71,00	51,00	38,00	13,00	SP				S6-M1
	24	14,40	15,90									
	25	1,60	17,10									
	26	2,40	16,80									
	27	0,20	16,50									
	28	35,40	16,80									
	29	1,60	17,20	83,00	41,00	NP	NP	SP	1,39	0,80	0,7849	PF 1.70mt
			80,00	46,00	29,00	7,00	SP				PF 3.30mt	
			44,00	38,00	29,00	8,00	SP	1,68	1,13	0,9286	PF 4.30mt	
30	3,40	17,10										
31	0,60											

**Tabla 14. Resumen Estadístico Mes De Marzo Jornada De La Mañana**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (MARZO MAÑANA)		día
Contenido de humedad máximo	134,00	8
Contenido de humedad mínimo	43,00	8
Limite plástico máximo	39,00	1-29
Limite plástico mínimo	18,00	8
Limite liquido máximo	56,00	1
Limite liquido mínimo	34,00	8
Indicé de plasticidad máximo	17,00	8
Indicé de plasticidad mínimo	6,00	17

**Tabla 15. Resultados De Laboratorio Mes De Marzo Jornada De La Tarde.**

MES-AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	ID
MARZO-2011	1	20,00	24,80	58,00	60,00	44,00	15,00					S3-M2
	2	15,80	25,20									
	3	0,20	25,00									
	4	0,00	23,40									
	5	3,20	27,30									
	6	17,40	24,20									
	7	0,00	23,10									
	8	3,20	24,20	78,00	59,00	47,00	11,00					
	9	41,40	23,90									
	10	0,60	26,60									
	11	0,00	25,90									
	12	0,00	24,60									
	13	0,00	25,30									
	14	0,00	27,70									
	15	0,80	27,80									
	16	35,40	23,80									
	17	1,80	22,50	75,00	48,00	38,00	10,00					S5-M1
	18	0,00	26,20									
	19	4,20	24,30									
	20	16,00	22,10									
	21	14,40	24,00									
	22	35,20	23,70									
	23	16,20	22,70	69,00	54,00	43,00	11,00					S6-M1
	24	14,40	23,30									
	25	1,60	22,40									
	26	2,40	23,80									
	27	0,20	22,10									
	28	35,40	26,40									
	29	1,60	25,90	66,00	49,00	39,00	10,00					
	30	3,40	27,30									
	31	0,60										

**Tabla 16. Resumen Estadístico Mes De Marzo Jornada De La Tarde**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (MARZO TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo	78,00	8
Contenido de humedad mínimo	58,00	1
Limite plástico máximo	47,00	1
Limite plástico mínimo	38,17	17
Limite liquido máximo	60,00	1
Limite liquido mínimo	48,00	17
Indicé de plasticidad máximo	15,00	1
Indicé de plasticidad mínimo	10,00	17-29

**Tabla 17. Resultados De Laboratorio Mes De Abril Jornada De La Mañana.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	ID
ABRIL-2011	1	25,40	15,80									
	2	28,00	16,70									
	3	1,80	17,20									
	4	44,20	16,70									
	5	4,00	17,00									
	6	4,40	17,50									
	7	19,40	174,00									
	8	32,40	17,40									
	9	9,40	17,00									
	10	9,00	17,10									
	11	4,60	18,10									
	12	5,40	16,90	59,00	47,00	34,00	13,00	SP	1,42	0,84	1,0819	PF 1.70 mt
				86,00	42,00	34,00	8,00	SP				PF 3.30mt
				78,00	46,00	38,00	8,00	SP	1,50	0,99	0,5562	PF 4.30mt
	13	15,80	17,00									
	14	0,80	18,20									
	15	34,40	---									
	16	4,20	18,60									
	17	5,20	18,20									
	18	24,40	16,70									
	19	12,80	16,20	86,00	48,00	39,00	9,00	SP				
	20	30,00	15,60									
	21	0,00	16,20									
	22	21,80	16,20									
	23	43,40	16,90									
	24	0,80	16,70									
	25	3,40	17,30									
	26	16,00	16,90	88,00	56,00	43,00	13,00	SP	1,37	0,69	0,6890	PF 1.70 mt
				79,00	60,00	44,00	16,00	SP				PF 3.30mt
				92,00	37,00	34,00	3,00	SP	1,44	0,75	0,6012	PF 4.30mt
27	15,40	17,50										
28	51,40	16,70										
29	0,20	17,10										
30	0,00	16,80										

**Tabla 18. Resumen Estadístico Mes De Abril Jornada De La Mañana.**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAÑNICOS (ABRIL MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo	92,00	26
Contenido de humedad mínimo	59,00	12
Limite plástico máximo	44,00	26
Limite plástico mínimo	34,00	12-26
Limite liquido máximo	60,00	26
Limite liquido mínimo	37,00	26
Indicé de plasticidad máximo	16,00	26
Indicé de plasticidad mínimo.	3,00	26

**Tabla 19. Resultados De Laboratorio Mes De Abril Jornada De La Tarde.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	ID	
ABRIL-2011	1	25,40	25,50										
	2	28,00	25,70										
	3	1,80	25,20										
	4	44,20	21,60										
	5	4,00	26,10										
	6	4,40	20,30										
	7	19,40	25,80										
	8	32,40	25,90										
	9	9,40	27,10										
	10	9,00	26,70										
	11	4,60	28,60										
				27,00	71,00	51,00	35,00	16,00					
	12	5,40											
	13	15,80	26,40										
	14	0,80	25,70										
	15	34,40	---										
	16	4,20	24,90										
	17	5,20	23,80										
	18	24,40	23,50										
	19	12,80	25,30		91,00	45,00	35,00	10,00					
	20	30,00	22,70										
	21	0,00	24,60										
	22	21,80	23,60										
	23	43,40	21,90										
	24	0,80	23,20										
	25	3,40	24,20										
				23,70	77,00		34,00						
	26	16,00											
27	15,40	25,10											
28	51,40	26,00											
29	0,20	23,20											
30	0,00	22,10											

**Tabla 20. Resumen Estadístico Mes De Abril Jornada De La Tarde.**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECHANICOS (ABRIL TARDE)	Valor	día
Contenido de humedad máximo	91,00	19
Contenido de humedad mínimo	71,00	12
Limite plástico máximo	35,00	12-19
Limite plástico mínimo	34,00	26
Limite liquido máximo	51,00	12
Limite liquido mínimo	45,00	19
Indicé de plasticidad máximo	16,00	12
Indicé de plasticidad mínimo	10,00	19

**Tabla 21. Resultados De Laboratorio Mes De Mayo Jornada De La Mañana.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm <sup>3</sup> )	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm <sup>2</sup> )	ID
	1	1,00	16,80									
	2	1,40	17,20									
	3	1,80	16,90	178,00	57,00	49,00	9,00	SP				S11-M1
	4	0,80	16,40									
	5	0,20	17,50									
	6	4,80	17,20									
	7	0,00	17,80									
	8	19,60	16,90									
	9	8,60	16,40									
	10	0,00	16,50									
	11	15,40	17,20									
	12	14,20	16,90									
	13	23,60	16,60									
	14	3,40	16,30									
	15	0,00	16,60									
	16	0,40	16,50									
MAYO-2011	17	0,00	16,50	109,00	49,00	42,00	8,00	SP	1,34	0,84	0,6245	PF 1,70 mt
				74,00	51,00	43,00	8,00	SP				PF 3,30mt
				126,00	66,00	50,00	16,00	SP	1,45	0,98	1,4918	PF 4,30mt
				86,00	48,00	40,00	8,00	SP	1,38	0,92	1,2610	PF 1,70 mt
				88,00	48,00	35,00	13,00	SP				PF 3,30mt
	18	0,20	16,10									
	19	7,80	16,70									
	20	5,40	14,80									
	21	0,80	16,20									
	22	14,00	16,00									
	23	0,80	16,20									
	24	3,20	17,20	159,00	NL	NP	NP	SP				S13-M1
				103,00	48,00	40,00	8,00	SP				S13-M2
	25	14,40	15,80									
	26	1,60	16,70									
	27	0,60	18,10									
	28	1,40	17,20									
	29	6,00	17,10									
	30	0,60	17,40									

**Tabla 22. Resumen Estadístico Mes De Mayo Jornada De La Mañana**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (MAYO MAÑANA)		día
Contenido de humedad máximo	178,00	3
Contenido de humedad mínimo	74,00	17
Limite plástico máximo	50,00	17
Limite plástico mínimo	35,00	17
Limite liquido máximo	66,00	17
Limite liquido mínimo	48,00	17-24
Indicé de plasticidad máximo	16,00	17
Indicé de plasticidad mínimo	8,00	17-24

**Tabla 23. Resultados De Laboratorio Mes De Mayo Jornada De La Tarde.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Knlcm2)	ID	
MAYO-2011	1	1,00	22,80										
	2	1,40	25,00										
	3	1,80	22,70	127,00	58,00	NP	NP					S11-M1	
	4	0,80	26,60										
	5	0,20	26,90										
	6	4,80	21,80										
	7	0,00	24,60										
	8	19,60	21,10										
	9	8,60	24,40										
	10	0,00	23,10										
	11	15,40	22,90										
	12	14,20	21,70										
	13	23,60	23,60										
	14	3,40	23,40										
	15	0,00	22,70										
	16	0,40	23,60										
	17	0,00	21,40	65,00	54,00	36,00	18,00						
			77,00	56,00	43,00	14,00							
	18	0,20	23,10										
	19	7,80	22,60										
	20	5,40	21,90										
	21	0,80	23,40										
	22	14,00	23,60										
	23	0,80	23,50										
	24	3,20	23,00	174,00	NL	NP	NP						S13-M3
			98,00	48,00	38,00	10,00							S13-M4
	25	14,40	24,20										
	26	1,60	24,90										
27	0,60	24,40											
28	1,40	23,10											
29	6,00	24,40											
30	0,60	24,30											

**Tabla 24. Resumen Estadístico Mes De Mayo Jornada De La Tarde.**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECHANICOS (MAYO TARDE)	Valor	día
Contenido de humedad máximo	174,00	24
Contenido de humedad mínimo	65,00	17
Limite plástico máximo	43,00	17
Limite plástico mínimo	36,00	17
Limite liquido máximo	58,00	3
Limite liquido mínimo	48,00	24
Indicé de plasticidad máximo	18,00	17
Indicé de plasticidad mínimo	10,00	24



**Tabla 25. Resultados De Laboratorio Mes De Junio Jornada De La Mañana.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	ID
	1	19,80	17,00									
	2	61,00	17,10									
	3	1,40	16,70									
	4	6,40	16,60									
	5	13,20	15,20									
	6	11,60	17,40									
	7	5,00	17,60	79,00	47,00	40,00	7,00	SP				S15-M1
				77,00	SUELO ORGANICO			SP				S15-M2
	8	0,20	17,00									
	9	0,00	17,70									
	10	1,80	16,90									
	11	0,20	17,40									
	12	0,20	18,50									
	13	14,60	16,80									
	14	2,60	15,90	83,00	44,00	35,00	9,00	SP				S16-M1
	15	5,40	15,70									
	16	0,60	16,00									
	17	4,20	17,50									
	18	18,40	16,80									
	19	1,60	16,60									
	20	5,40	16,30									
	21	0,20	16,80									
	22	15,20	17,30									
	23	0,40	17,20									
	24	0,00	17,50									
	25	0,00	17,30									
	26	20,20	17,30									
	27	11,60	17,30									
	28	1,00	17,30									
	29	0,20	17,70									
	30	0,00	18,40									

**Tabla 26. Resumen Estadístico Mes De Junio Jornada De La Mañana**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECHANICOS (JUNIO MAÑANA)		día
Contenido de humedad máximo	83,00	14
Contenido de humedad mínimo	77,00	7
Limite plástico máximo	40,00	7
Limite plástico mínimo	35,00	14
Limite liquido máximo	47,00	7
Limite liquido mínimo	44,00	14
Indicé de plasticidad máximo	9,00	14
Indicé de plasticidad mínimo	7,00	7

**Tabla 27. Resultados De Laboratorio Mes De Junio Jornada De La Tarde**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kn/cm2)	ID
	1	19,80	24,00									
	2	61,00	22,60									
	3	1,40	22,10									
	4	6,40	18,90									
	5	13,20	24,10									
	6	11,60	25,80									
	7	5,00	22,30	82,00	46,00	32,00	14,00					S15-M3
				71,00	40,00	32,00	8,00					S15-M4
	8	0,20	23,90									
	9	0,00	24,90									
	10	1,80	23,70									
	11	0,20	24,60									
	12	0,20	25,00									
	13	14,60	22,30									
	14	2,60	25,40	80,00	50,00	43,00	7,00					S16-M1
JUNIO-2011	15	5,40	24,30									
	16	0,60	22,90									
	17	4,20	24,20									
	18	18,40	23,60									
	19	1,60	23,70									
	20	5,40	22,10									
	21	0,20	24,30									
	22	15,20	24,50									
	23	0,40	22,10									
	24	0,00	23,80									
	25	0,00	25,20									
	26	20,20	21,30									
	27	11,60	25,70									
	28	1,00	25,00									
	29	0,20	25,60									
	30	0,00	26,30									

**Tabla 28. Resumen Estadístico Mes De Junio Jornada De La Tarde**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (JUNIO TARDE)	Valor	día
Contenido de humedad máximo	82,00	7
Contenido de humedad mínimo	71,00	7
Limite plástico máximo	43,00	14
Limite plástico mínimo	32,00	7
Limite liquido máximo	50,00	14
Limite liquido mínimo	40,00	7
Indicé de plasticidad máximo	14,00	7
Indicé de plasticidad mínimo	7,00	14

**Tabla 29. Resultados De Laboratorio Mes De Julio Jornada De La Mañana.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	ID
JULIO - 2011	1	0,00	17,00									
	2	0,40	17,40									
	3	0,00	15,80	120,00	64,00	53,00	11,00	SP	1,40	0,71	0,7172	PF 170 mt
				135,00	62,00	65,00	36,00	SP				PF 3.30mt
				163,00	59,00	43,00	16,00	SP	1,31	0,56	1,8178	PF 4.30mt
				103,00	49,00	39,00	10,00	SP	1,42	0,76	1,4229	PF 170 mt
				81,00	47,00	34,00	13,00	SP				PF 3.30mt
				83,00	49,00	36,00	13,00	SP	1,51	0,85	1,7204	PF 4.30mt
	4	0,00	16,40									
	5	0,00	16,40									
	6	0,00	16,30									
	7	0,60	16,80									
	8	0,00	17,20	68,00	47,00	42,00	6,00	SP	1,46	0,80	0,8331	PF 170 mt
				126,00	69,00	52,00	17,00	SP				PF 3.30mt
				158,00	49,00	46,00	3,00	SP	1,35	0,59	0,5773	PF 4.30mt
				80,00	48,00	36,00	12,00	SP	1,44	0,79	1,5759	PF 170 mt
				76,00	45,00	32,00	14,00	SP				PF 3.30mt
				92,00	45,00	39,00	6,00	SP	1,42	0,74	0,8157	PF 4.30mt
	9	0,00	17,20									
	10	0,00	17,80	80,00	NL	NP	NP	SP	1,43	0,80	1,0859	PF 170 mt
				77,00	43,00	39,00	4,00	SP				PF 3.30mt
				80,00	43,00	34,00	9,00	SP	1,52	0,84	1,2986	PF 4.30mt
	11	1,00	17,80									
	12	0,80	18,80									
	13	0,00	19,20									
	14	0,00	18,30									
	15	2,00	17,80	68,00	44,00	36,00	7,00	SP	1,46	0,75	0,6565	PF 170 mt
				74,00	47,00	36,00	11,00	SP				PF 3.30mt
				71,00	46,00	34,00	12,00	SP	1,55	0,90	1,1183	PF 4.30mt
				91,00	38,00	32,00	6,00	SP	1,39	0,73	1,1571	PF 170 mt

**Tabla 30. Resumen Estadístico Mes De Julio Jornada De La Mañana**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAICOS (JULIO MAÑANA)		día
Contenido de humedad máximo	163,00	3
Contenido de humedad mínimo	71,00	15
Limite plástico máximo	65,00	3
Limite plástico mínimo	32,00	15
Limite liquido máximo	69,00	8
Limite liquido mínimo	38,00	15
Indicé de plasticidad máximo	36,00	3
Indicé de plasticidad mínimo	3,00	8

**Tabla 31. Resultados De Laboratorio Mes De Julio Jornada De La Tarde.**

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	ID	
JULIO - 2011	1	0,00	27,30										
	2	0,40	25,80										
	3	0,00	24,90		170,00	NL	NP	NP					
					99,00	50,00	38,00	12,00					
	4	0,00	22,10										
	5	0,00	24,10										
	6	0,00	24,90										
	7	0,60	23,90										
	8	0,00	22,80		136,00	56,00	52,00	4,00					
					82,00	54,00	44,00	10,00					
	9	0,00	23,50										
	10	0,00	24,60		79,00	41,00	38,00	3,00					
11	1,00	27,90											
12	0,80	27,00											
13	0,00	24,70											
14	0,00	26,70											
15	2,00	27,40		100,00	42,00	35,00	7,00						
				90,00	NL	NP	NP						

**Tabla 32. Resumen Estadístico Mes De Julio Jornada De La Tarde**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECHANICOS (JULIO TARDE)	Valor	día
Contenido de humedad máximo	170,00	3
Contenido de humedad mínimo	79,00	10
Limite plástico máximo	52,00	8
Limite plástico mínimo	35,00	15
Limite liquido máximo	56,00	8
Limite liquido mínimo	41,00	10
Indicé de plasticidad máximo	12,00	3
Indicé de plasticidad mínimo	3,00	10

## 7.1.2 Muestras Inalteradas (Mañana).

### Tabla 33. Resultados De Laboratorio Perforaciones.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TEMPERATURA (C°)	MAÑANA								ID	ESTACA
				CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm3)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm3)	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)		
FEBRERO-2011	15	22,80	17,90	56,00	50,00	38,00	12,00	SP	1,54	0,98	0,4433	PF 1.70 mt	
				55,00	46,00	35,00	11,00	SP				PF 3.30mt	
				66,60	55,00	35,00	19,00	SP	1,59	1,02	0,5503	PF 4.30mt	
MARZO-2011	8	3,20	16,60	43,00	34,00	18,00	16,00	SP	1,43	0,73	0,5919	PF 1.70 mt	
				107,00	44,00	35,00	9,00	SP				PF 3.30mt	
				134,00	51,00	38,00	13,00	SP	1,72	1,23	0,2134	PF 4.30mt	
	29	1,60	17,20	83,00	41,00	NP	NP	SP	1,39	0,80	0,7849	PF 1.70 mt	
				80,00	46,00	39,00	7,00	SP				PF 3.30mt	
				44,00	38,00	29,00	8,00	SP	1,68	1,13	0,9286	PF 4.30mt	
ABRIL-2011	12	5,40	16,90	59,00	47,00	34,00	13,00	SP	1,42	0,84	1,0819	PF 1.70 mt	
				86,00	42,00	34,00	8,00	SP				PF 3.30mt	
				78,00	46,00	38,00	8,00	SP	1,50	0,99	0,5562	PF 4.30mt	
	26	16,00	16,90	88,00	56,00	43,00	13,00	SP	1,37	0,69	0,6890	PF 1.70 mt	
				79,00	60,00	44,00	16,00	SP				PF 3.30mt	
				92,00	37,00	34,00	3,00	SP	1,44	0,75	0,6012	PF 4.30mt	
MAYO-2011	17	0,00	16,50	109,00	49,00	42,00	8,00	SP	1,34	0,84	0,6245	PF 1.70 mt	
				74,00	51,00	43,00	8,00	SP				PF 3.30mt	
				126,00	66,00	50,00	16,00	SP	1,45	0,98	1,4918	PF 4.30mt	
				86,00	48,00	40,00	8,00	SP	1,38	0,92	1,2610	PF 1.70 mt	
				88,00	48,00	35,00	13,00	SP				PF 3.30mt	
JULIO-2011	3	0,00	15,80	120,00	64,00	53,00	11,00	SP	1,40	0,71	0,7172	PF 1.70 mt	
				135,00	62,00	65,00	36,00	SP				PF 3.30mt	
				163,00	59,00	43,00	16,00	SP	1,31	0,56	1,8178	PF 4.30mt	
				103,00	49,00	39,00	10,00	SP	1,42	0,76	1,4229	PF 1.70 mt	
				81,00	47,00	34,00	13,00	SP				PF 3.30mt	
				83,00	49,00	36,00	13,00	SP	1,51	0,85	1,7204	PF 4.30mt	
	8	0,00	17,20	68,00	47,00	42,00	6,00	SP	1,46	0,80	0,8331	PF 1.70 mt	
				126,00	69,00	52,00	17,00	SP				PF 3.30mt	
				158,00	49,00	46,00	3,00	SP	1,35	0,59	0,5773	PF 4.30mt	
				80,00	48,00	36,00	12,00	SP	1,44	0,79	1,5759	PF 1.70 mt	
				76,00	45,00	32,00	14,00	SP				PF 3.30mt	
				92,00	45,00	39,00	6,00	SP	1,42	0,74	0,8157	PF 4.30mt	
	10	0,00	17,80	80,00	NL	NP	NP	SP	1,43	0,80	1,0859	PF 1.70 mt	
				77,00	43,00	39,00	4,00	SP				PF 3.30mt	
				80,00	43,00	34,00	9,00	SP	1,52	0,84	1,2986	PF 4.30mt	
	15	2,00	17,80	68,00	44,00	36,00	7,00	SP	1,46	0,75	0,6565	PF 1.70 mt	
				74,00	47,00	36,00	11,00	SP				PF 3.30mt	
				71,00	46,00	34,00	12,00	SP	1,55	0,90	1,1183	PF 4.30mt	
91,00				38,00	32,00	6,00	SP	1,39	0,73	1,1571	PF 1.70 mt		

**Tabla 34. Resumen Estadístico De Los Parámetros Geomecánicos De Las Muestras Inalteradas.**

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISÍCOS (PERFORACIONES)		FECHA
Contenido de humedad máximo	163,00	03-Jul-11
Contenido de humedad mínimo	43,00	08-Mar-11
Limite plástico máximo	65,00	03-Jul-11
Limite plástico mínimo	18,00	08-Mar-11
Limite liquido máximo	69,00	08-Jul-11
Limite liquido mínimo	34,00	08-Mar-11
Indicé de plasticidad máximo	36,00	03-Jul-11
Indicé de plasticidad mínimo	3,00	26-Abr-11 08-Jul-11
Peso unitario húmedo máximo	1,72	08-Mar-11
Peso unitario húmedo mínimo	1,31	03-Jul-11
Peso unitario seco máximo	1,23	08-Mar-11
Peso unitario seco mínimo	0,56	03-Jul-11
Compresión simple máximo	1,8178	03-Jul-11
Compresión simple mínimo	0,2134	08-Mar-11

Desde el inicio de esta investigación, se optó por un talud que tuviera las condiciones trazadas dentro del objeto de la misma. Para lograr este objetivo se necesitaba que el talud fuese conformado por el mismo tipo de suelo; por lo tanto se utilizaron 136 metros de terreno para ser explorados.

Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos en el sondeo 16 muestra 2 no fueron analizados, ya que las características físico-mecánicas no eran consistentes con el tipo de suelo del talud, la cuales fueron propuestas en la investigación. (S16 M2, suelo orgánico).

La clasificación del suelo se realizo por medio del sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S). En donde este dio como resultado una clase de suelo (SP) Arena mal gradada (Suelo de partículas gruesas).

## 7.2 DATOS CLIMATOLÓGICOS

Los datos climatológicos fueron suministrados por los boletines meteorológicos mensuales de Acuaseo a través de la página web de la universidad tecnológica de Pereira, estación meteorológica Acuaseo ubicada en la Romelia. Los boletines meteorológicos contienen detalladamente los datos diarios de la temperatura promedio, alta, baja y la lluvia, desde enero hasta agosto de 2011.

**Tabla 35. Promedio de los meses**

MES - AÑO	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	LLUVIA (mm)	LLUVIAS ACUMULAD AS 15 DÍAS	LLUVIAS ACUMULAD AS 30 DÍAS	LLUVIAS ACUMULAD AS 45 DÍAS
ENERO A JULIO DE 2011	20,35	7,80	7,48	8,11	8,75

**Tabla 36. Promedio mensual**

MES - AÑO	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	LLUVIA (mm)	LLUVIAS ACUMULAD AS 15 DÍAS	LLUVIAS ACUMULAD AS 30 DÍAS	LLUVIAS ACUMULAD AS 45 DÍAS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
ENERO	20,30	5,32				
FEBRERO	20,11	11,68	6,95	5,97	5,97	68,40
MARZO	19,96	9,21	11,27	12,52	9,82	77,78
			11,87	10,92	12,21	
ABRIL	19,98	15,60	14,91	12,21	11,47	81,14
			13,80	14,21	12,64	
MAYO	20,61	5,57	6,28	10,67	11,95	112,10
JUNIO	20,65	7,41				79,67
JULIO	20,82	2,73	4,97	4,73	6,67	96,11
			2,27	3,50	6,04	
			2,27	3,49	5,65	
			0,19	2,91	5,12	
AGOSTO	20,34	5,46				

El mes más lluvioso fue abril con un promedio de lluvia diaria de 15.60 mm y el mes más seco fue julio con un promedio de lluvia diaria de 2.73 mm.

La humedad más alta se presentó el 2 de mayo de 2011 con un valor de 178 y la humedad más baja se presentó el 8 de marzo de 2011 con un valor de 43.



### 7.3 POSIBLES RELACIONES ENTRE PARÁMETROS FÍSICO MECÁNICOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

Al efectuar las correlaciones entre las variables propuestas que se trabajaron; se halló que la variación de los contenidos de humedad estudiados tanto en la mañana como en la tarde, no fueron afectadas por la precipitación del día y tampoco con la variación de temperatura del día. Esto nos dice que no hay una correlación que permita determinar que la variación de contenido de humedad está en función directa de la precipitación del día ni de la temperatura del día.

Se encontraron variaciones de límite líquido y límite plástico, pero sabemos que técnicamente estos no tienen ninguna relación ni con la temperatura ni con la precipitación del día, ya que es un valor inducido, obtenido artificialmente en el laboratorio.

Al estudiar la relación de la temperatura y las precipitaciones diarias con los parámetros mecánicos como la cohesión y la fricción, se determina que los parámetros mencionados se mantuvieron en un mismo rango, en el tiempo evaluado.

La correlación de las lluvias acumuladas a 15, 30, 45 días con los contenidos de humedad es la única correlación que se puede tener en cuenta después de haber estudiado los datos hallados en el laboratorio.

7.3.1 Correlación lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad.

**Tabla 37. Base de datos para las correlaciones de lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad mañana y tarde.**

SONDEO	LLUVIA ACUMULADA 15 DIAS	CONT.NIDO DE HUMEDAD	
		MAÑANA	TARDE
1	104,20	66,60	64,00
2	183,40	96,00	88,00
3	223,40	58,00	58,00
4	169,00	134,00	78,00
5	118,00	80,00	75,00
6	153,00	71,00	69,00
7	178,00	44,00	66,00
8	223,60	78,00	71,00
9	217,60	86,00	91,00
10	207,00	92,00	77,00
11	222,00	178,00	127,00
12	94,20	126,00	65,00
13	94,60	159,00	174,00
14	56,80	127,00	131,00
15	162,60	79,00	82,00
16	156,60	83,00	80,00
17	74,60	163,00	170,00
18	34,40	158,00	136,00
19	34,00	80,00	79,00
20	2,80	71,00	100,00

Figura 21. Correlación de lluvias acumuladas quincenal vs contenido de humedad mañana.

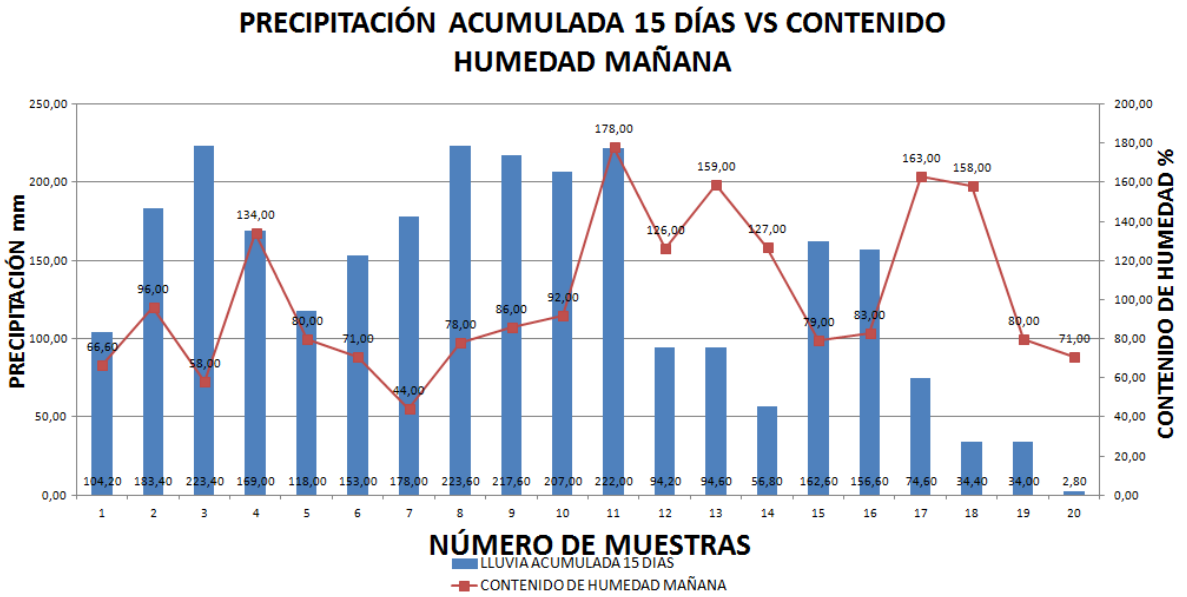
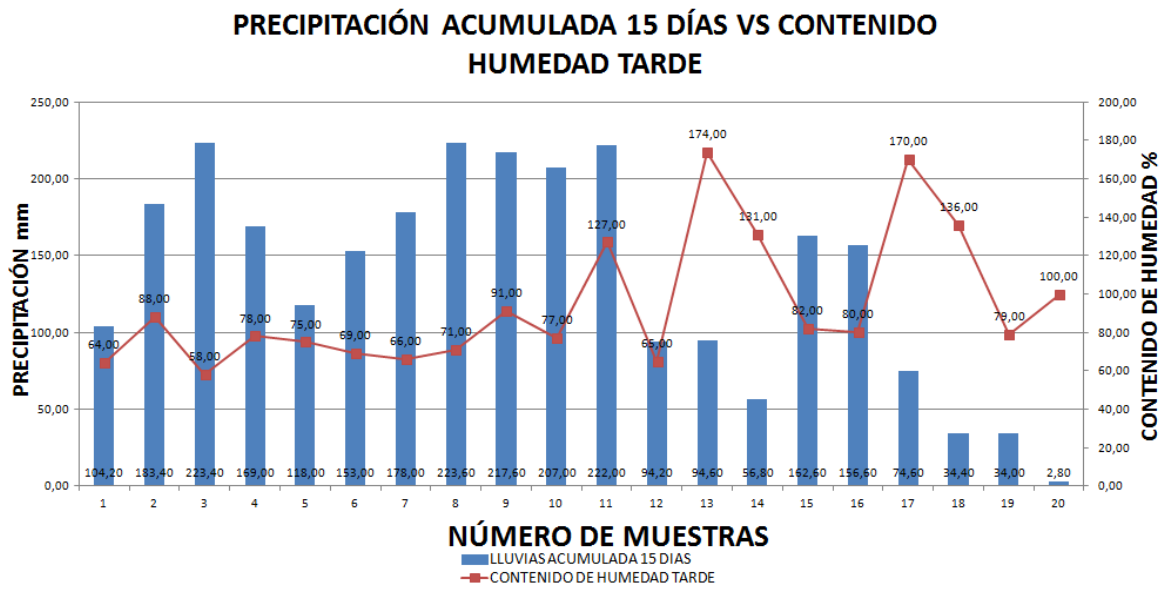


Figura 22. Correlación de las lluvias acumuladas quincenal vs contenido de humedad tarde.

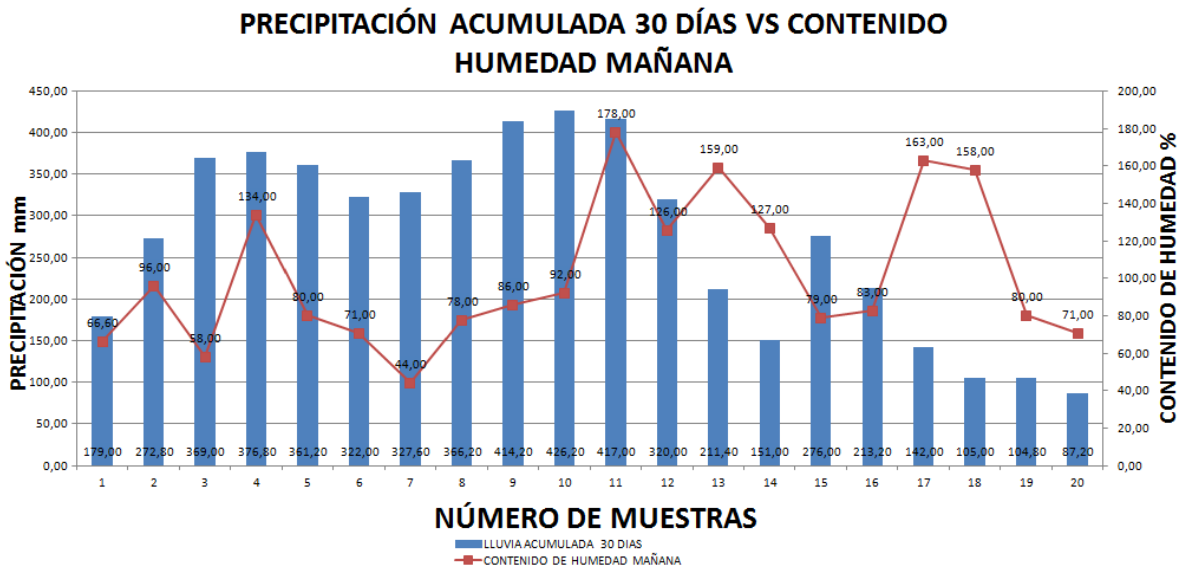


7.3.2 Correlación lluvia acumulada mensual vs contenido de humedad.

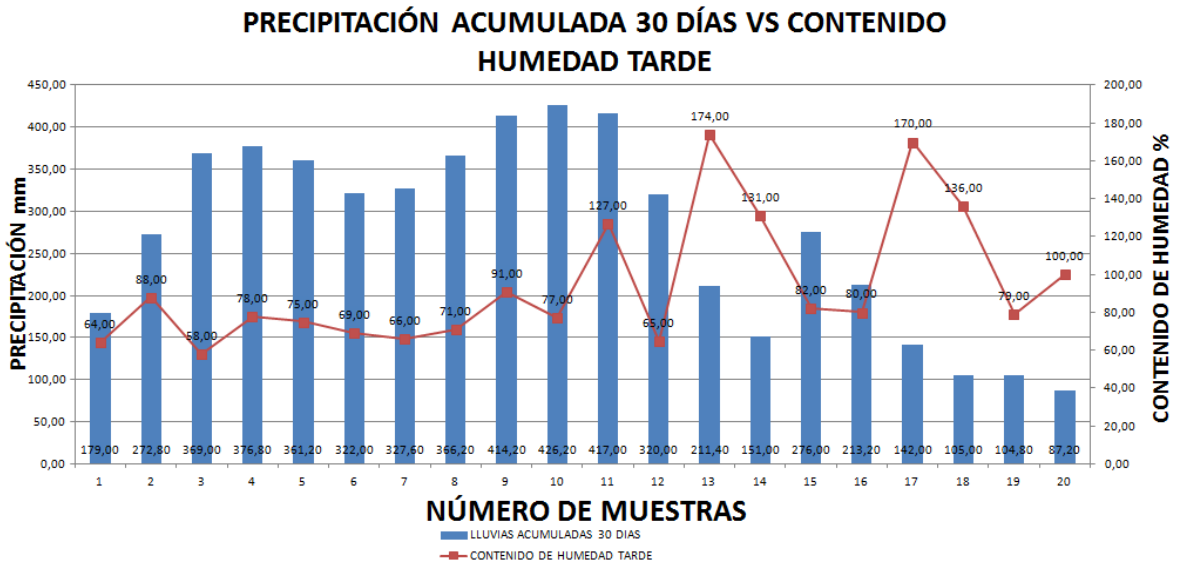
**Tabla 38. Base de datos para las correlaciones de lluvia acumulada mensual vs contenido de humedad mañana y tarde.**

SONDEO	LLUVIA ACUMULADA 30 DIAS	CONTENIDO DE HUMEDAD	
		MAÑANA	TARDE
1	179,00	66,60	64,00
2	272,80	96,00	88,00
3	369,00	58,00	58,00
4	376,80	134,00	78,00
5	361,20	80,00	75,00
6	322,00	71,00	69,00
7	327,60	44,00	66,00
8	366,20	78,00	71,00
9	414,20	86,00	91,00
10	426,20	92,00	77,00
11	417,00	178,00	127,00
12	320,00	126,00	65,00
13	211,40	159,00	174,00
14	151,00	127,00	131,00
15	276,00	79,00	82,00
16	213,20	83,00	80,00
17	142,00	163,00	170,00
18	105,00	158,00	136,00
19	104,80	80,00	79,00
20	87,20	71,00	100,00

**Figura 23. Correlación de las lluvias acumuladas mensuales vs contenido de humedad mañana.**



**Figura 24. Correlación de las lluvias acumuladas quincenal vs contenido de humedad tarde.**



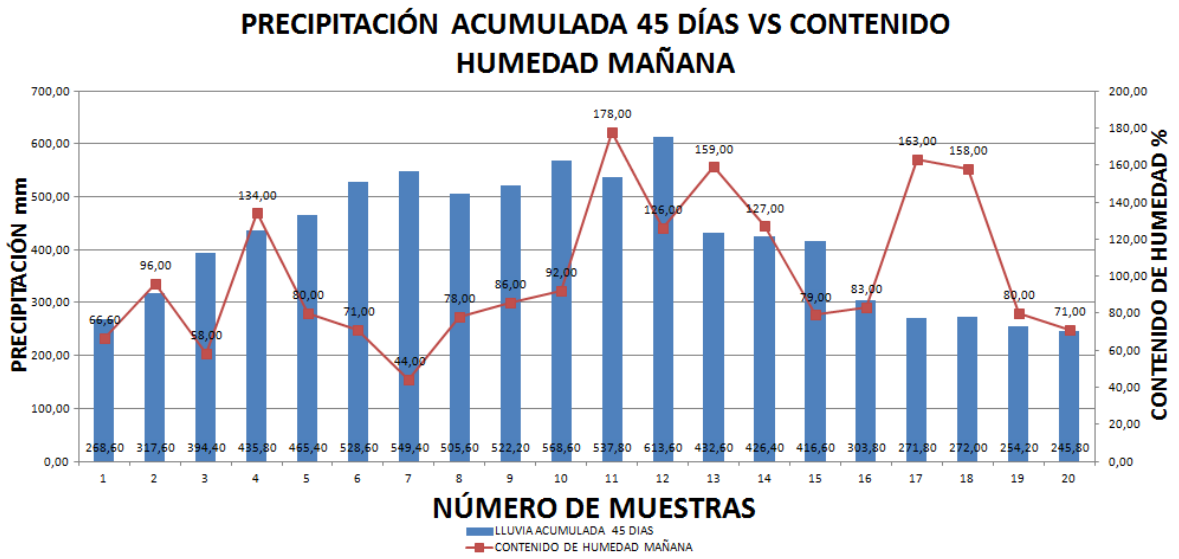
7.3.3 Correlación lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad.

**Tabla 39. Base de datos para las correlaciones de lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana y tarde.**

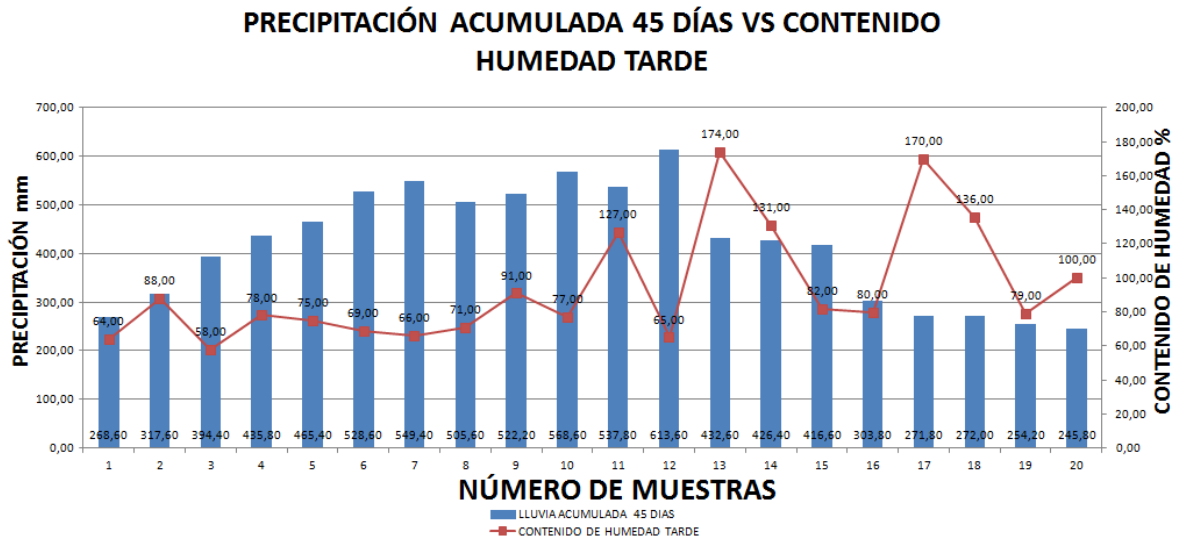
SONDEO	LLUVIA ACUMULADA 45 DÍAS	CONTENIDO DE HUMEDAD	
		MAÑANA	TARDE
1	268,60	66,60	64,00
2	317,60	96,00	88,00
3	394,40	58,00	58,00
4	435,80	134,00	78,00
5	465,40	80,00	75,00
6	528,60	71,00	69,00
7	549,40	44,00	66,00
8	505,60	78,00	71,00
9	522,20	86,00	91,00
10	568,60	92,00	77,00
11	537,80	178,00	127,00
12	613,60	126,00	65,00

13	432,60	159,00	174,00
14	426,40	127,00	131,00
15	416,60	79,00	82,00
16	303,80	83,00	80,00
17	271,80	163,00	170,00
18	272,00	158,00	136,00
19	254,20	80,00	79,00
20	245,80	71,00	100,00

Figura 25. Correlación de las lluvias acumuladas cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana.



**Figura 26. Correlación de las lluvias acumuladas cuarenta y cinco días vs contenido de humedad tarde.**



La variación porcentual de los contenidos de humedad en los registros de lluvias acumuladas a 15, 30 y 45 días que estuvieron entre 2.80 mm y 613.6 mm, no fueron lo suficientemente significativos en el talud la Romelia vía Dosquebradas - Santa Rosa, en razón a que todos los valores obtenidos durante el proceso investigativo fueron menores al 178%.

#### 7.4 RESULTADO ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (PC-STABLE)

Para la evaluación de la estabilidad del talud de la Romelia, se utilizó el software PC-STABLE, mediante el cual se realizaron análisis estáticos y dinámicos, con el propósito de valorar el comportamiento de los materiales modelados en diferentes escenarios. Tales escenarios permitieron configurar la estabilidad de los terrenos bajo diferentes condiciones:

- Las condiciones actuales del terreno: geometría y características físico-mecánicas de los materiales que conforman el cuerpo del talud.
- Efectos de la infiltración sobre los materiales, con el respectivo incremento de la presión de poros (efecto de las precipitaciones).

- Efectos de solicitaciones sísmicas sobre los materiales, a partir de los criterios de la NSR-10 y los efectos locales de amplificación (microzonificación sísmica de Dosquebradas).
- Potenciales efectos combinados de lluvias y sismo, sobre la estabilidad de los terrenos.

#### 7.4.1 Estimación De Los Parámetros Mecánicos Del Suelo.

**Tabla 40. Datos Para Realizar La Prueba En El Programa Pc-Stable.**

##### Sondeo 1 y Sondeo 7

	TIPO DE MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)	PARÁMETROS FÍSICO MECÁNICOS			
			$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	C (Kpa)	$\phi$
SONDEO 1 (15 Febrero de 2011)	Suelo residual de cenizas volcánicas	3 mts	9.8	15.1	40.2	25.5
SONDEO 7 (29 Marzo de 2011)	Suelo residual de cenizas volcánicas	3 mts.	9.8	15.1	49.0	28.2

Fuente: Grupo De Co-Investigadores

Para el caso del efecto de las precipitaciones sobre los materiales, se consideraron los parámetros de saturación del suelo con valores del 50% y 100%.



Para el caso de los efectos de las sollicitaciones sísmicas sobre los terrenos, se asumieron los valores establecidos en la NSR-10 y las aceleraciones establecidas en el proyecto de microzonificación sísmica del municipio de Dosquebradas, para la zona 2, cuyos valores asumidos fueron 0,25 y 0,34 respectivamente.

Los valores de Factores de Seguridad obtenidos mediante corridas en el software PC-STABLE, con el método de análisis de JANBU CIRCULAR, se resumen en la siguiente tabla:

#### 7.4.2 Interpretación De Resultados De Pc-Stable.

**Tabla 41. Resultado Factor De Seguridad Sondeo 1 Y Sondeo 7**

SONDEO	TIPO DE ANÁLISIS						
	ESTÁTICO	PSEUDO-ESTÁTICO					
		Lluvia (50%)	Lluvia (100%)	Sismo (0,25)	Sismo (0,34)	Lluvia (50%) + Sismo (0,34)	Lluvia (100%) + Sismo (0,34)
1 (15 Febrero de 2011)							
<b>F.S.</b>	4.92	4.58	4.24	3.38	2.94	2.68	2.42
SONDEO	TIPO DE ANÁLISIS						
	ESTÁTICO	PSEUDO-ESTÁTICO					
		Lluvia (50%)	Lluvia (100%)	Sismo (0,25)	Sismo (0,34)	Lluvia (50%) + Sismo (0,34)	Lluvia (100%) + Sismo (0,34)
7 (29 Marzo de 2011)							
<b>F.S.</b>	5.13	4.71	4.31	3.49	3.06	2.78	2.49

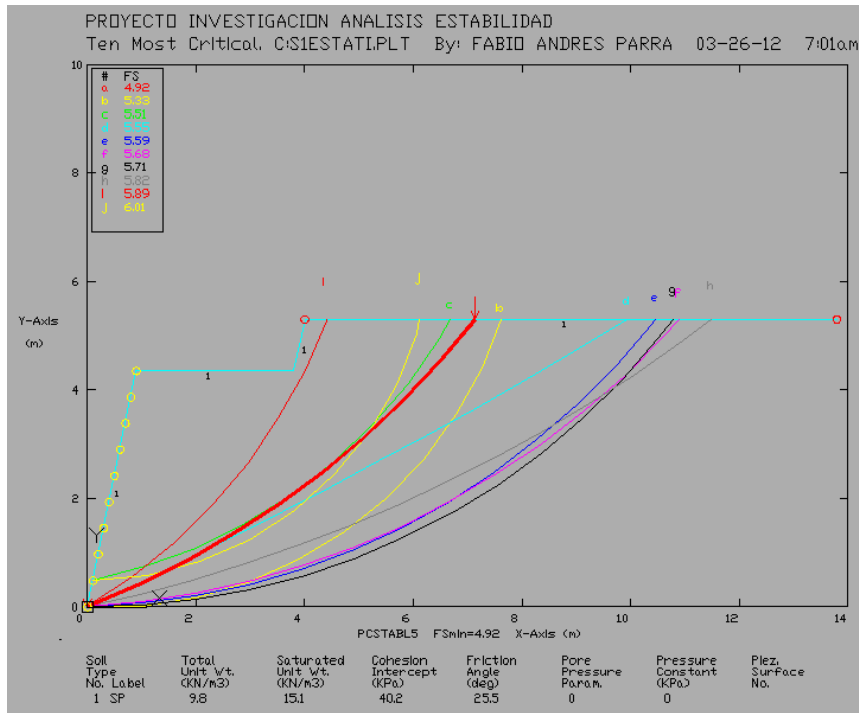
Fuente: Grupo De Co-Investigadores

### 7.4.3 Resultados Del Software PC-STABLE.

#### Sondeo 1

- Estático

**Figura 27. Resultado De La Prueba Estática Bajo Condiciones Normales**

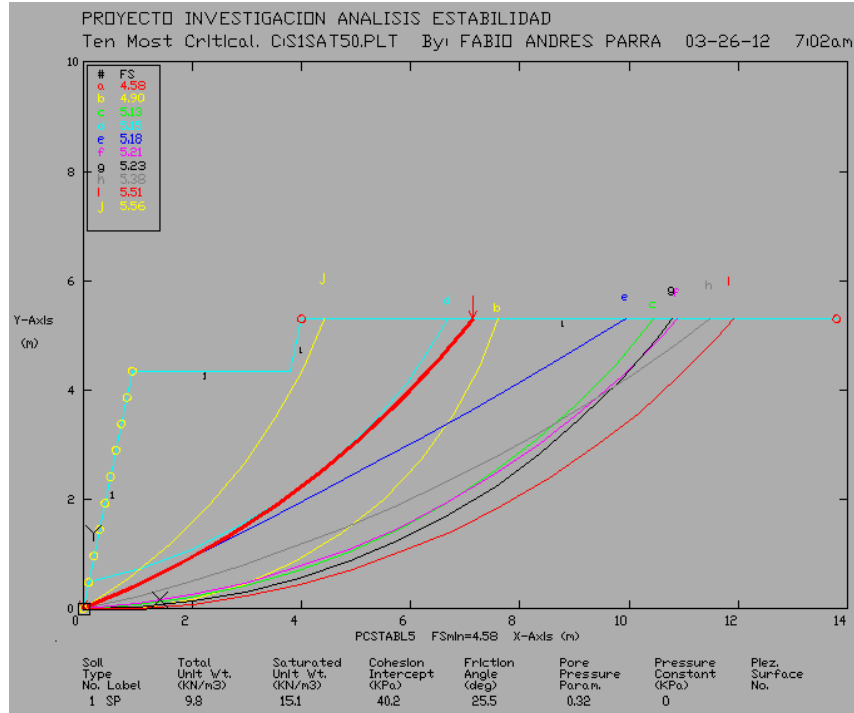


Realizada la corrida de estabilidad mediante el software PC-STABLE, en condiciones estáticas, se puede evidenciar la estabilidad del talud, alcanzando valores del factor de seguridad por encima de 3,0.

Esta evidencia sugiere que en ante condiciones climáticas no lluviosas, y sin exposición a sollicitaciones sísmicas, el comportamiento del talud es seguro.

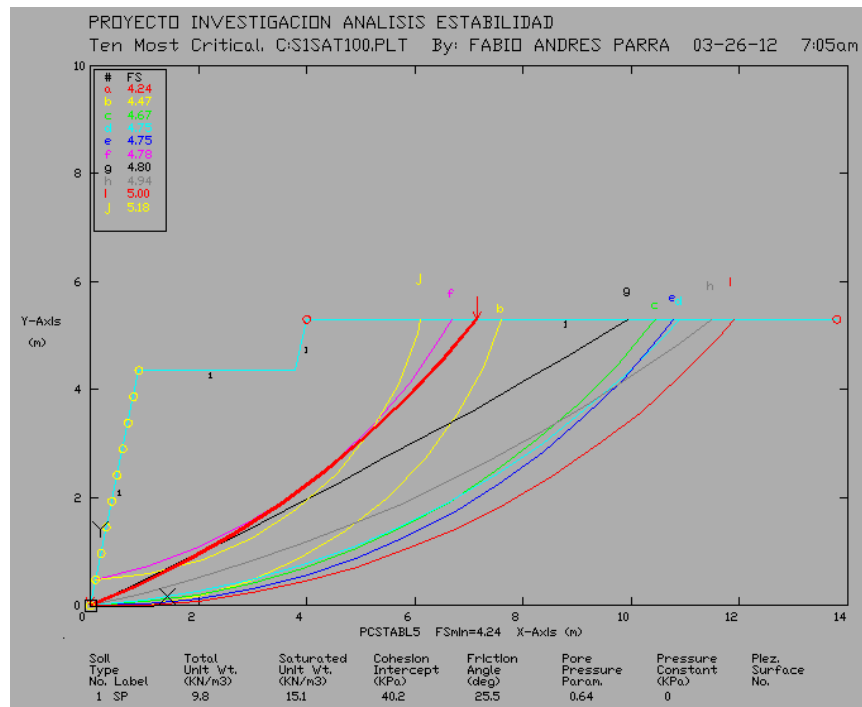
- Saturado al 50%

**FIGURA 28. RESULTADO DE LA PRUEBA ESTÁTICA BAJO CONDICIONES DE LLUVIAS MEDIAS**



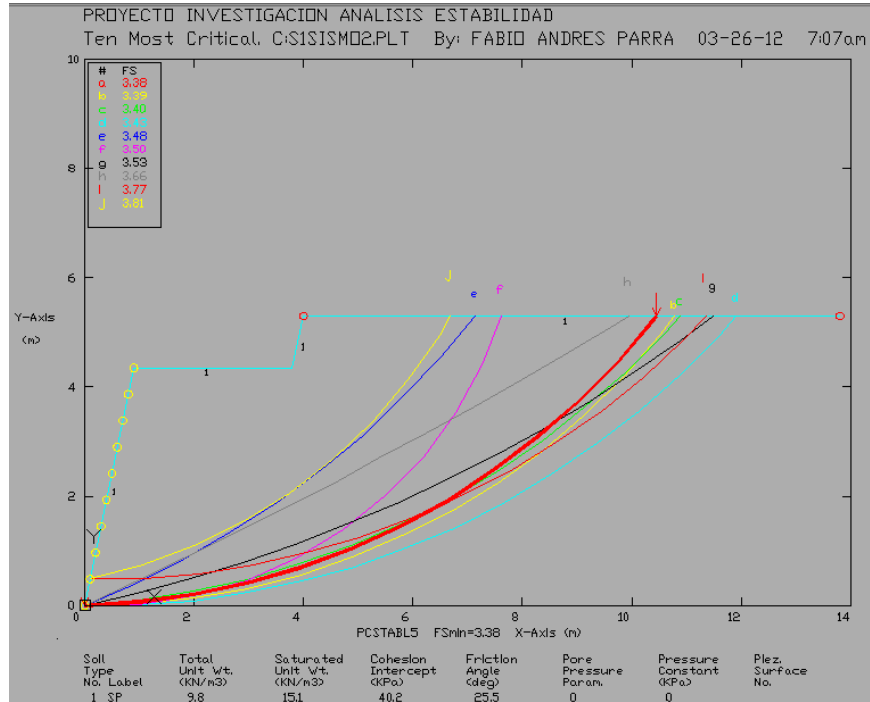
- Saturado al 100%

**Figura 29. Resultado De La Prueba Estática Bajo Condiciones de llluvias máximas**



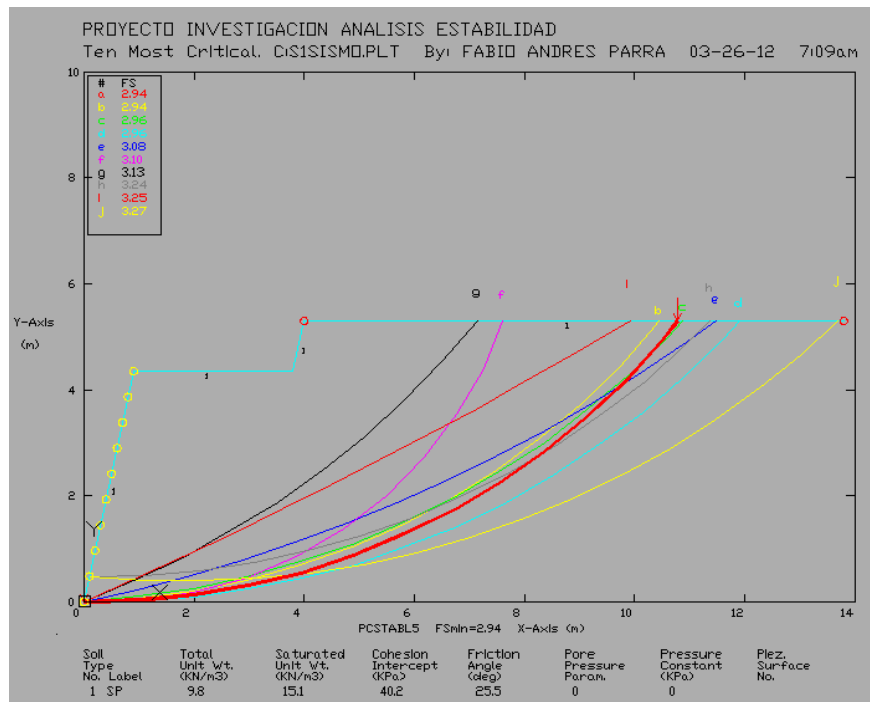
- Dinámico I

**Figura 30. Resultado De La Prueba dinámica ante la ocurrencia de un evento sísmico de pseudo-aceleración espectral de 0.25 g**



**Dinámico II**

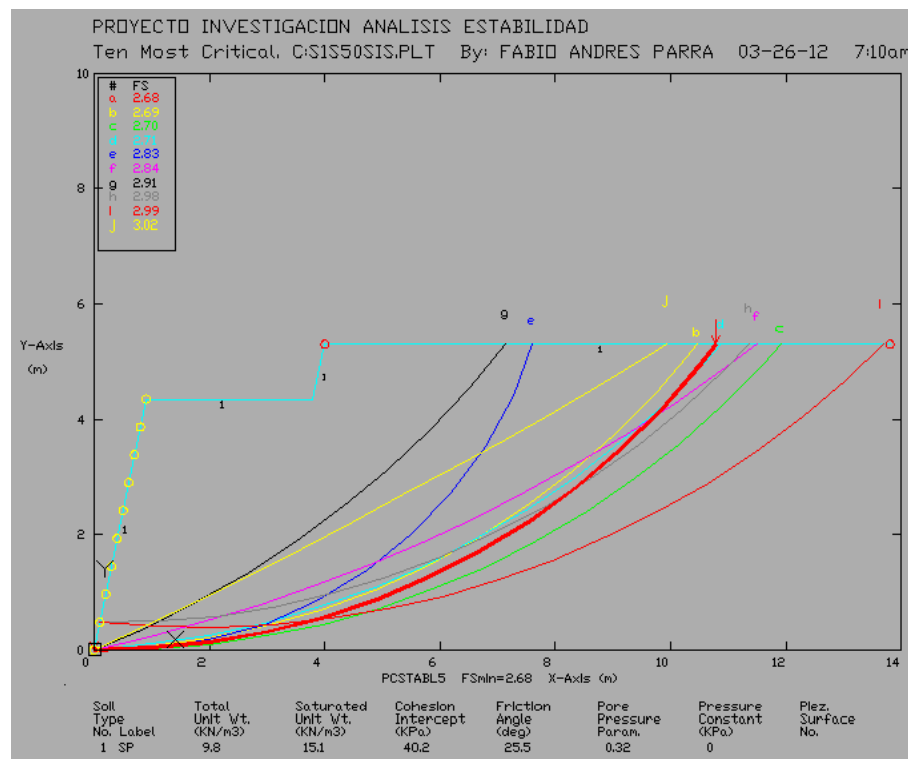
**Figura 31. Resultado De La Prueba dinámica ante la ocurrencia de un evento sísmico de pseudo-aceleración espectral de 0.34 g**



Realizada la corrida de estabilidad mediante el software PC-STABLE, en condiciones dinámicas, se puede evidenciar que el factor de seguridad se encuentra por encima de 1. Esta evidencia sugiere que ante condiciones climáticas de lluvia 100% + sismo de 0.34, razón por la cual se puede inferir que el talud no puede fallar. Además se puede señalar que la lluvia no es un factor determinante ya que en los demás análisis dinámicos que se realizaron con lluvia se presentaron factores de seguridad mayores 1.

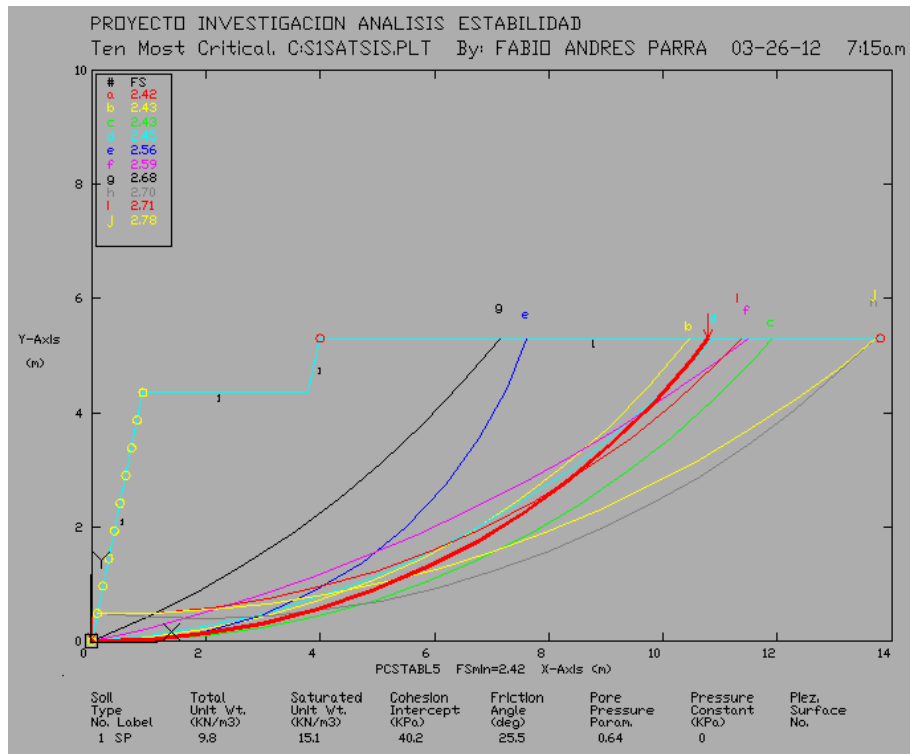
### Crítico I

**Figura 32. Resultado De La Prueba dinámica bajo la condición de lluvias medias y ante la ocurrencia de un evento sísmico de pseudo-aceleración espectral de 0.34 g**



- Crítico II

**Figura 33. Resultado De La Prueba dinámica bajo la condición de lluvias máximas y ante la ocurrencia de un evento sísmico de pseudo-aceleración espectral de 0.34 g**



## 8. CONCLUSIONES.

- El talud localizado en la Romelia, vía Dosquebradas-Santa Rosa. Se encontró las siguientes características geométricas.

### TALUD N° 1

Altura del talud	Mínima: 4,35 mts	Máxima: 5,55 mts
Cara libre	6,60 mts	
Longitud	136 mts	
Pendiente	80% - 54%, denotando cierta irregularidad geométrica.	
Forma de la pendiente	Lisa	
Cobertura	Pastos	100%
	Arboles	0%
	Otros	0%
Corona del talud	Se encuentra una canal en concreto a lo largo del talud y una serie de plantas cada 5.00 mt	
Cuerpo del talud	Vegetación	
Base del talud	Via Dosquebradas-Santa Rosa.	

### TALUD N° 2

Altura del talud	Mínima: 0,80 mts	Máxima: 4,50 mts
Cara libre	5,10 mts	
Longitud	128 mts	
Pendiente	94% - 47%, denotando cierta irregularidad geométrica.	
Forma de la pendiente	Lisa	
Cobertura	Pastos	99%
	Arboles	0%
	Otros	1%
Corona del talud	Se encuentra una serie de plantas linealmente a lo largo del talud y una torre metálica.	
Cuerpo del talud	Vegetación	
Base del talud	Via Dosquebradas-Santa Rosa.	

- En el tiempo que se realizó la investigación se determinaron los parámetros físicos del talud localizado en la vía Dosquebradas-Santa Rosa, para las muestras alteradas:

Parámetro Físicos		valor	fecha del valor encontrado y la jornada
Contenido de humedad	máximo	178,00%	8 de Marzo 2011, en la mañana.
	mínimo	43,00%	3 de Mayo 2011, en la mañana.
Limite liquido	máximo	69,00%	8 de Julio 2011, en la mañana.
	mínimo	18,00%	8 de Marzo 2011, en la mañana.
Limite plástico	máximo	65,00%	3 de Julio 2011, en la mañana.
	mínimo	18,00%	8 de Marzo 2011, en la mañana.
Índice de plasticidad	máximo	36,00%	3 de Julio 2011, en la mañana.
	mínimo	3,00%	26 de Abril 2011, en la mañana.

- Para las muestras inalteradas, perforación con tubos shelby se determinaron los siguientes parámetros geomecánicos:

Parámetro Geomecánicos		valor	fecha del valor encontrado
Contenido de humedad	Máximo	163,00%	3 de Julio 2011
	Mínimo	43,00%	8 de Marzo 2011
Limite liquido	Máximo	69,00%	8 de Julio 2011
	Mínimo	34,00%	8 de Marzo 2011
Limite plástico	Máximo	65,00%	3 de julio 2011
	Mínimo	18,00%	8 de Marzo 2011
Índice de plasticidad	Máximo	36,00%	3 de Julio 2011
	Mínimo	3,00%	26 de Abril 2011
Peso unitario húmedo	Máximo	1,68Gr/Cm <sup>3</sup>	29 de Marzo 2011
	Mínimo	1,31Gr/Cm <sup>3</sup>	3 de julio 2011
Peso unitario seco	Máximo	1,23Gr/Cm <sup>3</sup>	8 de Marzo 2011
	Mínimo	0,56Gr/Cm <sup>3</sup>	3 de julio 2011
Compresión simple	Máximo	1,82Kg/Cm <sup>2</sup>	3 de julio 2011
	Mínimo	0,21Kg/Cm <sup>2</sup>	8 de Marzo 2011
Angulo de fricción	Máximo	28,50	8 de Marzo 2011
	Mínimo	25,50	15 de Febrero 2011
Cohesión	Máximo	0,50Kg/Cm <sup>2</sup>	29 de Marzo 2011
	Mínimo	0,41Kg/Cm <sup>2</sup>	15 de Febrero 2011



- En las muestras alteradas como inalteradas se halló un mismo tipo de suelo, al cual se le efectuaron ensayos por lavado de tamiz #200 y granulométricos, se determinó que el tipo de suelo es (SP) Arena mal gradada (Suelo de partículas gruesas).
- La temperatura máxima donde se encuentra ubicado el talud comprendido en los meses de Enero y Agosto del 2011, fue de 30.5C° el día 11 de Junio de 2011 y la mínima de 14.60 C° el día 15 de Marzo de 2011.
- En el tiempo de estudio del talud, no fue un factor incidente la temperatura en la variación de los contenidos de humedad y de límite líquido. Se encontró que solo hay una relación significativa que son las lluvias acumuladas a 45 días.
- Durante la investigación la precipitación máxima registrada, se presentó el día 16 de Febrero de 2011 con un valor de 76.80 mm y la precipitación acumulada mensual para el mes de enero 164.6 mm, Febrero 327.4 mm, Marzo 284.80 mm, Abril 468.00 mm, Mayo 152.00 mm, Junio 222.40 mm, Julio 80.00 mm y Agosto 169.40 mm.
- Realizado el análisis de estabilidad en el software pc-stable con los parámetros mecánicos encontrados se determino que el factor de seguridad en condición estática para ambos casos fue 4.92 y 5.13 respectivamente, da cuenta de una condición de estabilidad bastante aceptable, razón por la cual se infiere que el terreno del talud ubicado en la Romelia vía Dosquebradas – Santa Rosa son estables en condiciones normales.
- Para el caso de las condiciones dinámicas, se presenta la situación de estabilidad mas critica está representada por la ocurrencia lluvias que saturen los suelos hasta un 100%, combinada con una ocurrencia de un evento sísmico que genere aceleraciones de 0.34 (según el proyecto de microzonificación sísmica del municipio de Dosquebradas). Alcanzando valores críticos para ambos casos de 2.42 y 2. en su factor de seguridad.

## 9. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las instituciones con competencias de prevención y atención de desastres que se mejoren los procesos y herramientas para poder obtener información más precisa en cuanto a precipitaciones, presión de poros y superficies piezométricas, en todos los taludes del municipio que históricamente tengan informes de acontecimientos inestables.

Se requieren más recursos para hacer investigaciones más profundas en lo que tiene que ver con la relación de los parámetros físico-mecánicos del suelo y variación climática local, ya que se encontró que solo hay una relación significativa que son las lluvias acumuladas.

Se debe determinar parámetros como infiltración, permeabilidad, micro fábrica de arcillas y mineralogía de los materiales hallados en el talud, ya que estos pueden tener mayor incidencia en la inestabilidad del talud,

Se sugiere a los entes encargados del municipio no conceder licencias de construcción en sitios que sean susceptibles a la ocurrencia de procesos de remoción en masa que puedan llegar a afectar la integridad física de las personas.

La instalación de piezómetros y el diagnóstico de los parámetros físico-mecánicos en taludes con potencial ocurrencia de remoción en masa es otra de las recomendaciones de gran relevancia a tener en cuenta; para tener modelos predictivos de tales eventos.

Es recomendable que se adopten pendientes apropiadas en los diseños de superficies inclinadas (taludes) en la construcción de vías; que sean vulnerables a deslizamientos; para así grandes cargas onerosas que deban afrontar las diferentes regiones del territorio nacional

## 10. BIBLIOGRAFÍA

### Libros

Braja M. Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Edición traducida. México. CengageLearning Editores. 2001. 594 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, Ingeominas. Introducción a la Geología con ejemplos de Colombia. Bogotá. 2001. 175 p.

Juárez E, Rico A. Mecánica de Suelos, tomo 1: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. 2 Edición. México. Editorial limusa. 2005. 642 p.

Lambe T, Whitman R. Mecánica de Suelos. 2 ed. México. Editorial Limusa. 1998. 582 p.

Suárez J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Colombia. Instituto de investigaciones. 1998. 548 p.

### Tesis

Gartner J. D. Relaciones Lluvias-Deslizamientos Y Zonificación Geotécnica En La Comuna Dos De La Ciudad De Manizales; Monografía Para Título De Especialización En Aprovechamiento De Recursos Hidráulicos. Medellín. Universidad Nacional De Colombia. Facultad Nacional De Minas. 2000

Narváez D. Análisis De La Lluvia Como Elemento Detonante En La Ocurrencia De Movimientos En Masa En Las Comunas Atardeceres Y Macarena Sector Occidental De La Ciudad De Manizales. Trabajo de grado magister en medio ambiente y desarrollo. Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Área de estudios ambientales urbanos. 2007.

### Revistas

Aristizábal E., González T., Montoya J. D., Vélez J. I., Martínez H., Guerra A.; Análisis De Umbrales Empíricos De Lluvia Para El Pronóstico De Movimientos En Masa En El Valle De Aburrá, Colombia. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín. 2011. Volumen 15. 95 – 111 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA, CARDER. Base Ambiental para la Formulación del Plan de Prevención y Atención de Desastres del Municipio de Dosquebradas, con Énfasis en Riesgos de Origen Natural. Risaralda; Pereira 2000. 90 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA, CARDER. Diagnostico de Riesgos Ambientales Municipio Dosquebradas. Risaralda; Pereira. 2004. 57 p.

Lizcano A., Herrera M.C. y Santamarina J.C. Suelos Derivados De Cenizas Volcánicas En Colombia. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Puerto Rico. 2006. Volumen 6. 167- 198 p.

Moreno H. A.; Vélez M. V.; Montoya J. D.; Rhenals R. L.; La Lluvia Y Los Deslizamientos De Tierra En Antioquia: Análisis De Su Ocurrencia En Las Escalas Interanual, Intraanual Y Diaria. Revista Escuela De Ingeniería De Antioquia; Medellín. 2006. Numero 5. 59 – 69 p.

### **Normas técnicas**

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1486. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá. 36 p.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1495. Suelos. Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa. Bogotá. 9 p.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1522. Suelos. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado. Bogotá. 6 p.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1527. Suelos. Métodos de ensayos para determinar la resistencia a la compresión confinada de los suelos cohesivos. Bogotá. 9 p.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1917. Suelos. Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas. Bogotá. 14 p.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 4630. Suelos. Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos. Bogotá. 21 p.

## **ANEXOS**

### **Anexo 1. Métodos de ensayos para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos.**

#### **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1527**

El objetivo principal del ensayo de compresión inconfiada es obtener rápidamente en valor aproximado de la resistencia a la compresión de los suelos que tienen suficiente cohesión para ser sometidos a dicho ensayo.

Las muestras de suelos figuradas o que tienen estructuras de falla, muestras de algunos tipos de lodos, arcillas muy blandas, suelos secos y friables y materiales laminados y desmoronadizos, o muestras que contiene cantidad significativa de limo y arena, o ambos (todos los que normalmente exhiben propiedades cohesivas), frecuentemente presentan una mayor resistencia al corte cuando se ensayan. También algunos suelos no saturados normalmente presentan resistencia al corte cuando se ensayan.

La sensibilidad del material puede ser determinada si se llevan a cabo ensayos sobre la misma muestra en condiciones alteradas e inalteradas. Este método para la determinación de la sensibilidad es adecuado solo para suelos que pueden mantener una forma estable al ser remoldeados.

#### **Equipo**

Aparato de compresión, extractor de muestras, deformímetro, comparador de carátula, cronómetro, balanza, equipo para la determinación del contenido de humedad, equipo auxiliar (incluye las herramientas para recortar y labrar la muestra, instrumentos para remoldear la muestra y las hojas de datos.)

#### **Tamaño De La Muestra**

Los especímenes deben tener un diámetro mínimo de 30 mm y el mayor tamaño de partículas de suelos contenidas dentro del espécimen de ensayo debe ser menor que 1/10 del diámetro del espécimen. Para muestras que tengan un diámetro de 72 mm o mayores, el tamaño mayor de partícula debe ser menor de

1/6 del diámetro del espécimen. Si después de terminar un ensayo sobre una muestra inalterada se encuentra, basado en la observación directa, que hay presente partículas mayores que las permitidas, se debe registrar esta información en la sección de observaciones del informe de los datos del ensayo. La relación de altura a diámetro debe encontrarse entre 2 y 2.5. Se determina la altura promedio y el diámetro de la muestra para el ensayo utilizando los instrumentos adecuados. Se toma un mínimo de 3 mediciones de la altura (separadas 120°) y por lo menos 3 mediciones del diámetro espaciadas igualmente a lo largo de la generatriz del cilindro.

### **Muestras Inalteradas**

Se debe preparar las muestras inalteradas a partir de muestras grandes inalteradas. Las muestras de tubo sin desbastar, a excepción de sus extremos, pueden ser ensayadas si las condiciones de la muestra justifican este procedimiento. Se manejan las muestras cuidadosamente para prevenir cualquier alteración, cambios en la sección transversal o pérdida en el contenido de agua. Si el aparato de extracción puede causar compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria de la muestra, se debe dividir el tubo de muestreo a lo largo o cortarse en secciones pequeñas para facilitar la remoción del espécimen sin alteración. Cuando sea posible, se debe preparar los especímenes a partir de muestras mayores inalteradas, en un cuarto con humedad controlada. Se debe tomar todas las medidas para prevenir cualquier cambio en el contenido de agua del suelo. Los especímenes deben tener una sección transversal circular con sus extremos perpendiculares al eje longitudinal de la muestra.

### **Muestras Remoldeadas**

Las muestras pueden ser preparadas a partir de una muestra inalterada o partir de una muestra alterada, siempre y cuando sea representativa de la muestra inalterada fallada. En el caso de las muestras inalteradas falladas, se envuelve el material en una membrana de caucho delgado y se amasa el material completamente con los dedos para asegurar un remoldeado completo. Se debe evitar que quede aire atrapado en la muestra. Se debe tener cuidado de obtener una muestra de densidad uniforme, con la misma relación de vacíos de la muestra inalterada y con el mismo contenido natural de agua en el suelo. Se moldea el material alterado en una formaleta de sección transversal circular cuyas dimensiones cumplan los requerimientos. Después de retirar los especímenes de las formaletas, se determina las masas y las dimensiones de las muestras para el ensayo.

## **Muestras Compactadas**

Las muestras deben ser preparadas con un contenido de agua predeterminada y una densidad prescrito por el cliente que solicita el ensayo. Después de preparada la muestra se recortan los extremos perpendicularmente al eje longitudinal, se retira de la formaleta y se determina su masa y sus dimensiones.

## **Procedimiento**

Se coloca el espécimen centrado en la placa inferior del aparato de carga. Se ajusta el instrumento de carga cuidadosamente de tal manera que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen. Se coloca en cero el indicador de deformación. Se aplica la carga para conseguir una relación de deformación axial unitaria de ½% a 2% por minuto se registra los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo – deformación (normalmente son suficientes 10 puntos a 15 puntos). La velocidad de deformación debe escogerse de tal manera que el tiempo necesario para la falla no exceda de 15 min (los materiales blandos que exhiben grandes deformaciones en la falla deben ser ensayados con una mayor velocidad de deformación. Por el contrario, los materiales rígidos o frágiles que presentan pequeñas deformaciones en el momento de la falla deben ser ensayados con una menor velocidad de deformación). Se continúa aplicando la carga hasta cuando la carga disminuya con incremento de deformación o hasta alcanzar una deformación igual a 15 %. La relación de deformación utilizada para ensayar muestras selladas puede disminuirse si se considera adecuada para obtener mejores resultados en el ensayo; en tal caso, esto debe anotarse en el informe, se determina el contenido de agua de la muestra ensayada a menos que se haya obtenido cortes representativos para este fin como en el caso de las muestras inalteradas. Se debe indicar en el informe si las muestras para contenido de humedad fueron obtenidas antes o después del ensayo de compresión.

Se debe elaborar un esquema o tomar una fotografía de la muestra en las condiciones de falla, mostrando el ángulo de inclinación de la superficie de rotura, si dicho ángulo es mensurable.

## **Cálculos**

Para una carga aplicada debe calcular la deformación unitaria axial,  $\epsilon_1$ , hasta el 0.1% más próximo, mediante la siguiente fórmula:

$$\epsilon_1 = \Delta L / L_0$$

**Donde:**

$\Delta L$  = cambio de longitud del espécimen leído en el indicador de deformaciones

(mm).

$L_0$  = longitud inicial del espécimen (mm).

Para una carga aplicada se debe calcular el promedio del área de la sección transversal,  $A$ , mediante la fórmula:

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon_1)$$

**Donde:**

$A_0$  = promedio del área de la sección transversal inicial del espécimen (mm<sup>2</sup>).

$\varepsilon_1$  = deformación unitaria axial para una fuerza aplicada, %.

Para una carga aplicada se debe calcular el esfuerzo de compresión,  $\varepsilon_c$ , con aproximación a las tres cifras significativas o al 1 KPa más próximo, como sigue:

$$\varepsilon_c = P / A$$

**Donde:**

$P$  = carga aplicada en KPa.

$A$  = área transversal promedio correspondiente (mm<sup>2</sup>)

Si desea puede dibujarse un grafico que muestre la relación entre los esfuerzos de compresión en las ordenadas y la deformación axial en las abscisas. Se selecciona el valor inicial máximo del esfuerzo de compresión, o el esfuerzo de compresión al 15% de deformación axial, lo que se alcance primero, y se registra como la resistencia a la compresión inconfiada,  $q_u$ .

Si se determina la resistencia a la compresión no confinada de materiales inalterados y materiales remoldeados, la sensibilidad,  $S_t$ , se calcula como sigue:

$$S_t = q_u(\text{material inalterado}) / q_u(\text{material remoldeado})$$





**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE  
UNIVERSIDAD LIBRE – PEREIRA**

Localización:  
Nº Perforación:

Fecha y hora:                      Clima:  
Descripción:  
Profundidad:

**Espesor de la capa orgánica:**

Def. (10*-3 pul)	Def. unitaria (Cm)	1-def. unitaria (Cm)	Carga			Área corregida	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>
			Lec. Dial	(lg)	Kg		

MEDIDAS DE LA MUESTRA		CONTENIDO DE AGUA		PESOS UNITARIOS (Gr/cm <sup>3</sup> )		AREA CORREGIDA
Diam.(cm)		Recipiente + Masa Hum. (gr)		P. unit. Hum		Ac= Ao/1-Def. Un.
Alt. H (cm)		Recipiente + Masa seca (gr)		P. unit. seco		
Área (cm <sup>2</sup> )		Recipiente (gr)				
Vol. (cm <sup>3</sup> )		Humedad (%)		CONST. ANILLO DE CARGA=		Y= 0,3737 x-6,8616

**Observaciones:**

## **Anexo 2. Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa**

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA:** NTC 1495

**Correspondencia:** ASTM D 2216-98

### **Equipo Utilizado**

Horno de secado; balanzas contenedores de la muestra; desecador, aparatos para manejar el contenedor; cuchillos; espátulas; cucharas, ropa de adecuada; partidores de muestras.

### **Toma De Muestras**

Muestra de suelo 200 gr con un mínimo de masa de material húmedo del 1%(20gr), para una muestra de roca intacta  $\geq 500$  gr

### **Preparación De Muestras**

Se deben describir y anotar los materiales que descartemos de la muestra obtenida

### **Alteradas**

Material manipulable: se mezcla y se extrae la muestra del espécimen material no manipulable: se toman 5 porciones de diferentes sitios para la muestra del espécimen si el material no permite hacer una pila se toman las muestras donde sea más representativa la humedad

### **Inalteradas**

se desbasta con cuchilla la parte externa del espécimen, si está compuesto por capas, si el espécimen no está formado por capas se hace un corte tomando un trozo representativo cortando la superficie expuesta de la mitad del material (suelos cohesivos requieren  $\frac{1}{2}$  muestra, los no cohesivos la muestra entera), si se encuentra un material formado por capas se selecciona una muestra promedio o muestras individuales o ambas (identificar las muestras en cuanto su localización con su respectiva observación)

## Procedimiento

1. Se determina la masa del contenedor limpio y seco.
2. Selección de muestras
3. Registrar valor de masa de la muestra húmeda en contenedor (numerar contenedores con su respectivas tapas) para muestras grandes se contiene en la bandeja distribuyendo el material en partes pequeñas.
4. Se remueve la tapa (si se usa) para secar la muestra a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en un periodo de 16h-24h.
5. Se tapa el contenedor para la muestra secada, deje enfriar el material a temperatura ambiente. Se determina la masa del contenedor y el material secado con la misma balanza se usa tapa para cerrar herméticamente si se presume y la muestra absorbe humedad del aire

## Cálculos

$$w = ((W_m - W_s) / W_s) * 100$$

w: contenido de humedad

$W_m$ : peso de la muestra húmeda

$W_s$ : peso seco de la muestra

## HOJA DE CALCULOS Y RESULTADOS



**DETERMINACIÓN EN LABORATORIO  
DEL CONTENIDO DE AGUA  
(HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS  
DE SUELO-AGREGADO  
I.N.V. E – 122 – 07  
UNIVERSIDAD LIBRE – PEREIRA**

--

**Localización:** La Romelia

**Fecha y hora:**

**Clima:**

**Nº Muestra:**

**Descripción:**

**Espesor de la capa orgánica:**

<b>PRUEBA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Masa recipiente $W_c$ (gr)			
Masa recipiente + suelo húmedo $W_1$ (gr)			
masa recipiente + suelo seco $W_2$ (gr)			
Muestra húmeda sin recipiente (gr)			
Muestra seca sin recipiente (gr)			
Contenido de agua $W$ (%)			
Contenido de agua $W$ (%) prom.			

**Observaciones:**

--

### **Anexo 3. Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas**

#### **NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1917**

##### **Resumen Del Método De Ensayo**

El método consiste en colocar el espécimen del ensayo en la caja de corte directo, aplicar un esfuerzo normal determinado, humedecer o drenar el espécimen de ensayo, o ambas cosas, consolidar el espécimen bajo el esfuerzo normal, soltar los marcos que contienen la muestra y desplazar un marco horizontalmente respecto al otro a una velocidad constante de deformación y medir las fuerzas de corte y los desplazamientos horizontales a medida que la muestra es cortada.

##### **Muestra**

La muestra utilizada en la preparación del espécimen debe ser suficientemente grande de manera que puedan ser preparados por lo menos un mínimo de tres especímenes similares. Se prepara el espécimen en un ambiente de temperatura y humedad controladas para minimizar la ganancia o pérdida de humedad.

Debe tenerse mucho cuidado al preparar los especímenes inalterados de suelos sensitivos para prevenir la alteración natural del suelo. Se determina la masa inicial de la muestra húmeda que se utilizara para calcular el contenido inicial de agua y el peso unitario del espécimen.

El diámetro mínimo el espécimen para la muestra circulares o el ancho para los especímenes cuadrado debe ser 50 mm, o no menos de 10 veces el diámetro máximo de partículas, lo que sea mayor, y de acuerdo ancho-espesor.

El espesor mínimo inicial del espécimen debe ser de 12 mm, pero no menor que 6 veces el tamaño máximo de la partícula. La relación mínima entre el diámetro y el espesor debe ser de 2 a 1.

##### **Equipo**

aparato de corte, caja de corte, bloques porosos, mecanismos de carga, mecanismo para aplicar y medir la fuerza normal, mecanismo para cizallar la muestra, instrumento de medición de la fuerza de corte, soporte de la caja de corte, anillo de corte, balanzas, indicadores de deformación, equipo para la determinación del contenido de agua, equipo misceláneo (incluye un cronómetro, con segundero, agua destilada o desmineralizada, espátulas, cuchillos, enrasadores, sierras alambre, etc., elementos utilizados para la preparación de la muestra.)

## **Muestra inalterada**

Se coloca los bloques porosos húmedos sobre los extremos expuestos del espécimen en la caja de corte, se coloca la caja de corte con el espécimen inalterado y los bloques porosos en el soporte de la caja de corte y se fija al soporte.

## **Especímenes compactados**

Se coloca y se fija la caja de corte que contiene el espécimen compactado y los bloques porosos en el soporte.

Se conecta y ajusta el sistema de carga de corte de modo que no transmita fuerzas sobre el instrumento de medición de carga.

Se conecta y ajusta adecuada mente el instrumento de medición de desplazamiento horizontal utilizado para medir los desplazamientos de corte. Se hace una lectura inicial o se coloca el instrumento de medición para indicar el desplazamiento cero.

Se coloca un bloque poroso húmedo y la placa de transferencia de carga en la parte superior del espécimen en la caja de corte.

Se coloca el marco de carga de fuerza horizontal en posición y se ajusta de modo que la barra de carga quede horizontal.

Se aplica una pequeña carga normal al espécimen. Se verifica que todos los componentes de sistema de carga estén ajustados y lineados de tal manera que no quede restringido el movimiento de la palanca de transferencia de carga en la caja de corte. Se registra la carga vertical y la carga horizontal aplicadas en el sistema.

Se fija y ajusta los instrumentos de medición y desplazamiento lateral y vertical.

Si se requiere, se llena la caja de corte con agua y se mantiene llena durante la ejecución del ensayo.

Se calcula y se registra la fuerza normal requerida para obtener el esfuerzo normal deseado o el incremento subsiguiente. Se aplica el esfuerzo normal deseado agregando las masas apropiadas en el extremo de la palanca o incrementando la presión.

Se aplica la carga normal deseada o incrementos sucesivos al espécimen y se registran las lecturas de la deformación normal contra el tiempo transcurrido. Para todos los incrementos de carga se debe verificar que la consolidación primaria ha tenido lugar completamente antes de continuar. Se grafica el desplazamiento normal contra el logaritmo del tiempo o contra la raíz cuadrada del tiempo (minutos).

Después que ha tenido lugar la consolidación primaria, se mueven los tornillos de alineamiento o los pines de la caja de corte. Se abre el espaciamiento entre las mitades de la caja de corte hasta 0,6 mm utilizando los tornillos de separación. Se retiran los tornillos de separación.

Se selecciona una velocidad de desplazamiento apropiada. Se corta el espécimen a una velocidad relativamente baja de modo que haya exceso de presión en los poros en el momento de la ruptura. La siguiente ecuación puede ser utilizada como una guía para determinar el tiempo mínimo requerido desde el principio del ensayo hasta la rotura.

$$T_r = 50 T_{50}$$

Donde:

$T_r$ : tiempo total estimado hasta la ruptura, expresado en minutos.

$T_{50}$ : tiempo requerido para que el espécimen alcance el 50% de la consolidación, bajo es el esfuerzo normal especificado (o los incrementos subsiguientes), expresados en minutos.

$$T_{50} = T_{90}/4,28$$

**Donde:**

$T_{90}$ : tiempo requerido para que el espécimen alcance el 90% de la consolidación bajo el esfuerzo normal especificado (o los incrementos subsiguientes) expresado en minutos.

4,28: constante que relaciona el desplazamiento y los factores de tiempo,  $t_{50}$  y  $t_{90}$ .

Se determina el desplazamiento a partir de la siguiente ecuación.

$$D_r = D_f / t_r$$

**Donde:**

$D_r$ : velocidad de desplazamiento.

$D_f$ : desplazamiento horizontal estimado en el momento de la rotura (mm)

$T_r$ : tiempo total estimado hasta la rotura (min)

Se selecciona y se fija la velocidad de desplazamiento. La velocidad de desplazamiento se consigue ajustando la velocidad del motor.

Se registra el tiempo inicial, los desplazamientos horizontales y verticales y las fuerzas normales y de corte.

Se obtienen lecturas de tiempo, desplazamientos verticales y horizontales y las fuerzas de corte a intervalos definidos de desplazamientos. Las lecturas de datos deben tomarse a intervalos de desplazamientos iguales al 2% del diámetro del espécimen, o de su ancho para definir con precisión una curva de esfuerzo-

desplazamiento. Puede ser útil hacer lecturas adicionales para identificar el valor del esfuerzo de corte máximo de materiales sobre consolidados.

Una vez ocurra la falla de la muestra se apaga el aparato de ensayo. El desplazamiento correspondiente a la condición de falla puede encontrarse entre el 10% y 20% del diámetro o longitud del espécimen.

Terminado el ensayo, se remueve la muestra completa de la caja de corte, se seca en el horno y se determina la masa de los sólidos.

Para especímenes cohesivos se preparan las mitades de la caja de corte con un movimiento deslizante a lo largo del plano de rotura. No se deben separar las mitades de la caja de corte perpendicularmente a la superficie de falla puesto que se puede dañar el espécimen. Se fotografía, se dibuja o se describe por escrito la superficie de falla. Este procedimiento no es aplicable a los especímenes no cohesivos.

Se remueve el espécimen de la caja de corte y se determina su contenido de humedad. Se calcula y grafica el esfuerzo de corte nominal contra el desplazamiento lateral relativo.

## **Cálculos**

Esfuerzo de corte nominal sobre el espécimen

$$t = F / A$$

t: esfuerzo de corte nominal (KPa, Kg/cm<sup>2</sup>)

F: fuerza de corte (N, Kg)

A: área inicial del espécimen (cm<sup>2</sup>)

Esfuerzo normal sobre el espécimen.

$$\sigma_n = f / A$$

$\sigma_n$ : esfuerzo normal (KPa, Kg/cm<sup>2</sup>)

f: fuerza vertical nominal sobre el espécimen (N, Kg)

Velocidad de desplazamiento

$$D_r = D_h / t_e$$

$D_r$ : velocidad de desplazamiento (mm/min)

$D_h$ : desplazamiento lateral relativo (mm)

$T_e$ : tiempo transcurrido durante el ensayo

Se calcula la relación de vacíos inicial, el contenido de humedad, el peso unitario seco y el grado de saturación vasado en la gravedad específica y la masa total de espécimen. El volumen del espécimen es determinado por la medición de las dimensiones de la caja de corte y el espesor medido del espécimen.



#### **Anexo4. Ensayo para determinar la granulometría por tamizado**

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA: NTC 1522**

##### **Equipo Utilizado**

Balanzas, tamices, cuarteador de muestras (opcional), mortero de porcelana y delantal de laboratorio.

##### **Procedimiento**

La muestra se seca al aire y se divide en dos partes: una que contiene el material retenido en el tamiz de 2.00mm (no.10) y otra con el material que pasa dicho tamiz. Se divide la muestra por medio de cuarteo, manteniendo en ella la composición original. Se toman dos partes opuestas (1 y 3 ó 2 y 4) y se repite el procedimiento hasta obtener la cantidad necesaria del material.

De conformidad con el tamaño máximo del material y su contenido relativo de partículas gruesas y finas, se tomara una cantidad de muestra total superior a la indicada en la tabla. La cantidad de material retenido en el tamiz de 2,00mm (No.10) dependerá del tamaño máximo de las partículas, de acuerdo con la tabla.

Tamaño nominal máximo	Masa mínima aproximada g
9,51 mm (3/8 de pulgada)	500
12,7 mm (1/2 de pulgada)	750
19,0 mm (3/4 de pulgada)	1 000
25,4 mm (1 pulgada)	2000
38,0 mm (1 1/2 de pulgada)	3000
50,8 mm (2 pulgadas)	4 000
76,1 mm (3 pulgadas)	5000

La cantidad de material que pasa el tamiz 2,00mm, será de unos 115g, si el suelo es arenoso, y de unos 65g si el suelo es limoso o arcilloso.

Separación de la muestra por medio del tamiz de 2,00mm (No.10):

Se mide la masa de la muestra y se pasa por el tamiz de 2,00mm, el material retenido se pasa al mortero de porcelana y sus partículas se disgregan para luego

pasarlas por el tamiz de 2,00mm. El material retenido en el segundo tamizado se lava sobre el mismo tamiz, se seca y se mide su masa.

Tamizado del material retenido en el tamiz de 2,00mm (No.10)

Se tamiza la parte retenida en el tamiz de 2,00mm, utilizando los tamices de 76,1mm(3"), 50,8mm(2"), 38,1mm(1 1/2"), 25,4mm(1"), 19mm(3/4"), 12,7mm(1/2"), 9,51mm(3/8"), 4.76mm(No4) y 2,00mm(No10) o los necesarios de acuerdo con la naturaleza de la muestra o las especificaciones del material ensayado.

El tamizado se puede hacer manualmente o mediante el empleo de una maquina adecuada. En caso de duda se tomara por valido el tamizado manual.

En el tamizado manual el material se debe mantener en movimiento permanente y con un movimiento circular, con una mano se sostiene y con la otra se golpea.

En ningún momento podemos permitir el paso de partículas a través del tamiz.

Se da finalizada la operación con un tamiz, cuando pase en 1 minuto no más del 1% de la masa de la muestra.

Se mide la masa del material retenido por cada tamiz y se comprueba al final de cada tamizado que la suma no difiere en  $\pm 2\%$  con respecto a la masa utilizada.

Tamizado del material que pasa el tamiz de 2,00mm (No.10)

Se mide con exactitud 100 g de material que pasa el tamiz de 2,00 mm (No10), si el suelo es arenosa, o 60g si el suelo es arcilloso o limoso. Se coloca en el vaso de precipitados y se añade lentamente, al mismo tiempo se agita unos 125cm<sup>3</sup> de solución de exametafosfato sódico al 4%. Se agita hasta humedecer completamente el suelo y se deja en reposo por lo menos durante 18 horas.

Se añade agua hasta 5cm del borde del vaso y se agita la suspensión en el aparato agitador durante un minuto.

Se lava todo el contenido sobre el tamiz de 74 $\mu$ m (No 200), hasta que pasa agua limpia. Se coloca lo retenido en una capsula con ayuda de un chorro de agua y con un cuidado de no perder partículas.

Se seca lo retenido en el horno a 110°C y se tamiza por los tamices de abertura menor que la de 2,00mm, y se mide la masa retenida en cada tamiz.

## HOJA DE CÁLCULOS Y RESULTADOS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

<b>Localización:</b> <b>Nº Muestra:</b> <b>Espesor de la capa orgánica:</b>	<b>Fecha y hora:</b> <b>Descripción</b>	<b>Clima</b>  <b>PESO</b>
---	--	---------------------------------

TAMIZ ICONTEC Nº	TAMIZ ICONTEC C (mm)	PESO TAMIZ g	PESO TAMIZ + SUELO	MASA RETENIDA g	% RETE NIDO	% PASA
(3/8")	9,51					
(No4)	4,76					
(No8)	2,38					
(No10)	2					
(No16)	1,19					
(No30)	0,595					
(No50)	0,297					
(No100)	0,149					
(No200)	0,074					
	FONDO					

**Observaciones:**

## **Anexo5.MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, DEL LÍMITE PLÁSTICO Y LOS ÍNDICES DE PLASTICIDAD DE SUELOS COHESIVOS**

**NORMA TÉCNICA COLOMBIANA:** NTC 4630`

**CORRESPONDENCIA:** ASTM D 4318

### **Limite líquido**

### **Equipo Utilizado**

Copa de Casagrande; ranurador; cápsulas de vidrio; balanza de precisión; recipiente para almacenar muestra; placa de vidrio esmerilado; espátula; tamiz no. 40 (425 $\mu$ ) recipiente y/o rociador de agua destilada; horno de secado; mortero.  
+ Delantal de laboratorio

### **Toma De Muestras**

Muestra de suelo entre 150 – 200 gr que pase tamiz no. 40. Los suelos secos deben pulverizarse hasta donde sea posible. El total de la muestra obtenida debe mezclarse con espátula o paleta y porcionarse para cada ensayo.

### **Preparación Muestras**

**Húmeda:** se mezclan los 150-200 gr con agua destilada mediante el uso de espátula. El suelo mezclado debe ponerse en el recipiente de almacenamiento con un plástico que lo cubra para evitar pérdidas de humedad y se deja reposar durante 16 horas (durante la noche). Después del reposo y antes del ensayo, debe mezclarse el suelo de nuevo con el uso de la espátula

### **Seca**

Se selecciona muestra entre 150-200 gr y se seca al ambiente o en horno que no supere los 60°, hasta que los terrones se pulvericen fácilmente mediante el uso de un mortero con mano de mortero de punta de caucho.  
Pasa el material a través del tamiz no. 40 tantas veces sea necesario, hasta asegurar la no presencia de materiales gruesos.

## Procedimiento

Se coloca una porción del suelo preparado en la copa de Casagrande hasta un espesor de 1 cm en su punto más grueso. Elimine las burbujas mediante el aplanado con espátula.

Ranure el suelo haciendo una incisión, desde el punto más alto hacia el más bajo, manteniendo el ranurador perpendicular contra la superficie de la copa. Debe verificarse que no haya desmoronamientos de suelo en la base o superficie inferior del recipiente.

Levante la manivela del dispositivo a razón de 2 golpes por segundo hasta que las dos mitades (taludes) de la masa de suelo queden en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de al menos 13 mm.

Se registra el número de golpes requerido para cerrar la ranura y se retira una tajada (alícuota) de suelo del ancho de la espátula perpendicular a la ranura. Se devuelve el suelo restante al recipiente de almacenamiento.

Se mezcla nuevamente el suelo, se adiciona agua destilada para aumentar el contenido de humedad del suelo y disminuir el número de golpes.

Los intentos deben presentar los siguientes intervalos: a) un cierre que requiera de 25 a 35 golpes; b) uno que requiere cierre entre 20 y 30 golpes y c) otro que requiera cierre entre 15 y 25 golpes .

Se determina el contenido de humedad para cada uno de los ensayos mediante la norma ntc 1495. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente se haya terminado el ensayo.

## Cálculos

Se Utiliza La Siguiete Ecuación:

$$LL = ((W_m - W_s) / W_s) * 100$$

LL: limite líquido

W<sub>m</sub>: peso de la muestra

W<sub>s</sub>: peso seco de la muestra

## **Anexo6. Limite plástico**

### **Preparación De La Muestra Para El Ensayo**

Se selecciona una porción de 20 g de suelo del material preparado para el ensayo de límite líquido, ya sea después de la segunda mezcla antes del ensayo, o del suelo que quedo después de terminar el ensayo. Se disminuye el contenido de agua del suelo hasta una consistencia en la cual pueda ser enrollado sin que se pegue a las manos, extendiéndolo y mezclándolo continuamente sobre la lámina de vidrio o el recipiente de almacenamiento. El proceso de secado puede ser acelerado, exponiendo el suelo a una corriente de aire de ventilador eléctrico o secándolo con papel que no agregue ninguna fibra al suelo como papel de toallas de superficie dura, o un papel de filtro de alta resistencia en húmedo.

### **Procedimiento**

De los 20 g de suelo se selecciona una porción de 1,5 g a 2,0 g. Se amasa la muestra hasta darle una forma elipsoidal. Se enrolla la masa entre la palma de las manos o los dedos y la placa de vidrio, con una presión apenas suficiente para enrollar la masa formando cilindros de diámetro uniforme en toda su longitud. Los cilindros de suelo formados en cada pasada deben ser de tal forma que alcancen un diámetro de 3,2 mm en no más de 2 min La presión de la mano o de los dedos requerida varía de acuerdo con el tipo de suelo. Los suelos frágiles de baja plasticidad se enrollan mejor bajo el borde exterior de la palma de la mano o en la base del dedo pulgar.

Cuando el diámetro del cilindro llegue a 3,2 mm, se debe romper en varios pedazos. Se juntan los trozos y se amasan entre el dedo pulgar y el dedo índice de cada mano, formando nuevamente una masa elipsoidal y se vuelven a preparar los cilindros. Continúe esta operación hasta conseguir un cilindro de 3,2 mm de diámetro, y luego juntando, amasando y volviendo a enrollar hasta que el cilindro se desmorone bajo la presión requerida para el enrollado y el suelo no pueda ser enrollado en cilindros de 3,2 mm. No tiene importancia si el cilindro se rompe en trozos de longitud más pequeña. Enrolle cada uno de esos trozos más pequeños hasta llevarlos a 3,2 mm de diámetro. El único requerimiento para continuar el ensayo es que se puedan volver a amasar en una masa elipsoidal y enrollar nuevamente. El operador nunca debe intentar producir una falla en exactamente 3,2 mm de diámetro, por permitir que el cilindro alcance 3,2 mm y reducir luego la velocidad de enrollado o la presión de la mano, o ambos, mientras continúa el enrollado sin deformación adicional hasta que el cilindro se desintegre. Es permisible, sin embargo, reducir la cantidad total de deformación para los suelos débilmente plásticos, haciendo que el diámetro inicial de la masa elipsoidal se

aproxime al diámetro final requerido de 3,2 mm. Si el desmoronamiento ocurre cuando el cilindro de suelo tiene un diámetro mayor de 3,2 mm, esto se debe considerar un punto final satisfactorio, siempre y cuando el suelo haya sido previamente enrollado en un cilindro de 3,2 mm de diámetro. El desmoronamiento del cilindro de suelo se manifiesta de manera diferente en los varios tipos de suelo. Algunos suelos se desintegran en numerosas partículas pequeñas, otros pueden formar una capa tubular externa que comienza a partirse en ambos extremos. El agrietamiento progresa hacia la mitad y finalmente el cilindro de suelo se desintegra en muchas partículas laminares pequeñas. Los suelos arcillosos plásticos requieren mucha presión para formar el cilindro de suelo, sobre todo a medida que se aproximan al límite plástico. En estos suelos, el cilindro se rompe en una serie de segmentos en forma de barril de 3,2 mm a 9,5 mm de longitud aproximadamente.

Se juntan las porciones del cilindro desmoronado y colóquelas en una cápsula, inmediatamente cubra el recipiente.

Se selecciona otra porción de 1,5 g a 2,0 g de la muestra original de suelo de 20 g y se repiten las operaciones descritas en los numerales 17.1 y 17.2 hasta que el recipiente tenga al menos 6 g de suelo.

Se repite las operaciones descritas en los numerales 17.1 a 17.3 para hacer que otro recipiente contenga al menos 6 g de adicionales suelo. Se determina el contenido de humedad del suelo en los recipientes, siguiendo el método de ensayo descrito en la NTC 1495.

### **Cálculos**

Se Utiliza La Siguiete Ecuación:

$$LP = ((W_m - W_s) / W_s) * 100$$

LP: limite plastico

W<sub>m</sub>: peso de la muestra

W<sub>s</sub>: peso seco de la muestra

### **ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

#### **Cálculos**

Calcule el índice de plasticidad a partir de los límites líquido y plástico, así:

$$IP = LL - LP$$



## DETERMINACION DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO

--

**Localización:**

**Fecha y hora:**

**Nº Muestra:**

**Descripción:**

**Espesor de la capa orgánica:**

**Clima:**

LIMITE LIQUIDO							
RANGO DE GOLPES	Nº DE GOLPES	PESO CAPSU LA (gr)	PESO CAPSU LA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSU LA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSU LA (gr)	PESO SECO SIN CAPSU LA (gr) (Ws)	W = ((Wm - Ws) / Ws)*100
15 A 20							
20 A 30							
25 A 35							
						LL % =	

LIMITE PLASTICO							
PRUEBA Nº	PESO CAPSU LA (gr)	PESO CAPSU LA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSU LA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSU LA (gr)	PESO SECO SIN CAPSU LA (gr) (Ws)	W = ((Wm - Ws) / Ws)*100	LIMITE PASTICO (%)
1º							
2º							
3º							
						LP%=	

<b>IP = INDICE DE PLASTICIDAD</b>	<b>IP=LL-LP</b>		
<b>CLASIFICACION DE ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS</b>			

<b>Observaciones:</b>
-----------------------



