

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.



ALEXANDER FANDIÑO PARRA
JORGE LUIS ALVAREZ LOPEZ

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE – SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
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.

Co- investigadores

ALEXANDER FANDIÑO PARRA
JORGE LUIS ALVAREZ LOPEZ

Trabajo de grado como requisito para optar el título de Ingeniero Civil.

Director e investigador

Geólogo ALEJANDRO ÁLZATE BUITRAGO

CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE – SECCIONAL PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

PEREIRA

2012

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, abril del 2012



AGRADECIMIENTOS

- A mis padres por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de mi carrera.
- A mi esposa Ana milena ángel por enseñarme que no hay limites, que lo que me proponga lo puedo lograr y que solo depende de mi.
- A todas las directivas de la universidad libre seccional Pereira, por su apoyo y colaboración para la realización de esta investigación.
- A la facultad de ingeniería civil, por el soporte institucional dado para la realización de este trabajo.
- A nuestro director de investigación que sin su valiosa ayuda esta tesis no habría sido posible; geólogo Alejandro Álzate Buitrago, a nuestros familiares y amigos.
- A todas las personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hacemos extensivo nuestros mas sinceros agradecimientos



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
2. FORMULACIÓN.....	188
3. OBJETIVOS	199
3. 1. OBJETIVO GENERAL.....	199
3. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	199
4. JUSTIFICACIÓN	20
5. ANTECEDENTES	222
6. MARCOS DE REFERENCIA.....	322
6. 1. MARCO TEÓRICO.....	322
6.1. 1 El contenido de humedad de los suelos.	366
6. 1. 2 Límites de atterberg.....	36
6. 1. 2. 1 Estados de consistencia.....	366
6. 1. 2. 2 Límite líquido	38
6. 1. 2. 3 Límite plástico	38
6. 1. 3 Granulometría de los suelos.....	39
6. 1. 4 Ensayo corte directo.....	39
6. 1. 5 Compresión simple.....	40
6. 1. 6 Relaciones volumétricas y gravimétricas.....	41
6. 1. 7 Evapotranspiración En Los Suelos.....	433
6. 1. 8 Infiltración en los suelos.	46
6. 1. 9 Gravedades especifica	50
6. 1. 10 Sistema unificado de clasificación de los suelos (USCS).....	50
6. 1. 11 Relación existente entre los movimientos en masa y las lluvias.	51
6. 1. 12 Relación entre los deslizamientos y la lluvia acumulada.....	522
6. 1. 13 Lluvia acumulada según Mayorga (2003).....	53
6. 1. 14 Formación de suelos derivados de las cenizas volcánicas.	53



6.1.15	Localización y distribución de las cenizas volcánicas en Colombia.....	54
6. 2.	MARCO CONCEPTUAL.....	56
6. 3.	MARCO LEGAL	60
7.	DISEÑO METODOLÓGICO	63
7. 1	TIPO DE ESTUDIO	63
7. 1. 1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	63
7. 2	DESCRIPCION DEL AREA GENERAL DE ESTUDIO.....	64
7. 2. 1	Aspectos geológicos.....	64
7. 2. 2	Uso y cobertura actual del suelo	67
7. 2. 3	Forma de la pendiente.....	68
7. 2. 4	Columna estratigráfica generalizada del área de estudio.....	69
7. 2. 5	Identificación del comportamiento sísmico de la zona.	70
7. 2. 6	Descripción hidro-climatológica del área de estudio.	72
7. 3.	LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	74
7. 3. 1	Características fisiográficas y de ocupación del entorno.....	75
7. 3. 2	Proceso para la toma de muestras alteradas	79
7. 3. 3	Procedimiento para la toma de muestras inalteradas	82
8.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	855
8. 1	CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL TALUD UBICADO EN EL PARQUE METROPOLITANO DEL CAFÉ DE LA CIUDAD DE PEREIRA.	85
8. 1. 1	Muestras alteradas.....	85
8. 1. 2	Muestras inalteradas parámetros geomecánicos (perforación con tubos shelby) 98	
8. 2	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.	109
8. 3	BASE DE DATOS CLIMATOLÓGICOS.	115
8. 4.	POSIBLES VARIACIONES ENTRE PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....	124
8. 4. 1	Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.....	130



8. 4. 2 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos largos (12 meses).....	133
8. 4. 3 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.....	133
8. 4. 4 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.....	139
8. 4. 5 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos cortos (6 meses).....	142
8. 4. 6 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos cortos (12 meses).....	145
8. 4. 7 Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación.	15456
8. 4. 8 Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación para periodos largos (12 meses).....	158
8. 5 RESULTADO ANALISIS DE ESTABILIDAD (PC-STABLE).....	160
8. 5. 1 Estimación de los parámetros mecánicos del suelo.....	161
8. 5. 2 Interpretación de resultados de Pc-Stable.....	162
8. 5. 3 Resultados del software Pc-Stable para fallas irregulares.....	163
8. 5. 4 Estimación de los parámetros mecánicos del suelo para el programa PC-STABLE mediante el análisis de JANBU para fallas circulares..	167
8. 5. 5 Interpretación de resultados de Pc-Stable	16868
9. CONCLUSIONES.....	171
10. RECOMENDACIONES	17575
BIBLIOGRAFÍA	177
ANEXOS	18181



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de deslizamiento superficial en talud estabilizado	34
Figura 2. Formación de los suelos derivados de cenizas volcánicas	54
Figura 3. 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.....	55
Figura 4. Mapa de unidades litológicas del municipio de Pereira.....	65
(Tomado de CARDER, Proyecto para el diagnostico de riesgos ambientales municipio de Pereira 2004).....	65
Figura 5. Mapa del municipio de Pereira usos y cobertura del suelo	66
Figura 6. Talud De Estudio Forma De La Pendiente	66
Figura 7. Perfil estratigráfico típico de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Regla general: los suelos más profundos y más antiguos son suelos más finos y arcillosos.	68
Figura 8. Mapa de microzonificación sísmica municipio de Pereira.	69
Figura 9. Fotografía aérea del lugar de la investigación.	72
Figura 10. Fotografía tomada en el lugar de la investigación.....	72
Figura 11. Fotografía aérea de la antigua vía de acceso al parque metropolitano del café.76	
Figura 12. Fotografía aérea del proyecto de la calle 50.....	77
Figura 13. Vista en planta talud parque metropolitano del café de Pereira	77
Figura 14. Perfil general parque metropolitano del café de Pereira	76
Figura 15. Perfil general parque metropolitano del café de Pereira	76
Figura 16. Proceso Mediante el cual se extrae la muestra inalterada.....	77
Figura 17. Fotografía del proceso y embalaje de la muestra	77
Figura 18. Secado de la muestra a temperatura ambiente.	78
Figura 19. Muestras después de ser sacadas del horno	78
Figura 20. Muestra secada y lista para ser sometida a los ensayos.	79
Figura 21. Muestra sometida al ensayo de casa grande.	79
Figura 22. Muestra sometida al ensayo de tamizado.....	80
Figura 23. Obtención de las muestras inalteradas.....	80
Figura 24. Embalaje de la muestra inalterada para ser llevada al laboratorio	83
Figura 25. Máquina para realizar ensayo de compresión simple.....	81
Figura 26. Proceso de lavado de la muestra en el tamiz # 200.	84
Figura 27. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad mañana.13129	



Figura 28. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad tarde. .	132
Figura 29. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad mañana para periodos largos	137
Figura 30. . Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad tarde para periodos largos.	138
Figura 31. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humedad mañana para periodo corto.	143
Figura 32. Correlaciones precipitacion acumulada mensual vs contenido de humedad tarde para periodos cortos.....	144
Figura 33. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humedad mañana para periodos largos.....	153
Figura 34. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humeda tarde para periodos largos.....	157
Figura 35. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana para periodos cortos	141
Figura 36. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad tarde para periodos cortos.....	164
Figura 37. . Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana para periodos largos.	144
Figura 38. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana para periodos largos.	166
Figura 39. . Correlaciones precipitación Vs evapotranspiración.....	169
Figura 40. Correlaciones precipitación Vs evapotranspiración.	170
Figura 41. Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación..	155
Figura 42 . Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación..	157
Figura 43. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales.....	161
Figura 44. Resultado de la prueba estática bajo condiciones críticas.....	162
Figura 45. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales sondeo 2.....	163.
Figura 46. Resultado de la prueba estática bajo condiciones críticas sondeo 2.....	164
Figura 47. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales sondeo1.....	167
Figura 48. Resultado de la prueba pseudo estática bajo condiciones críticas sondeo1..	168



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Afectación Del Sismo 25 Enero Del Año 1999	16
Tabla 2. Registro histórico de deslizamientos en el municipio de Pereira.....	20
Tabla 3. Microfábrica De arcillas y propiedades geotécnicas.....	28
Tabla 4. Propiedades físicas y generalidades de las alófanos.....	31
Tabla 5. Radiación solar extraterrestre en MJ m-2 d-1 (Allen et al., 1998)	45
Tabla 6. Resultados de laboratorio mes de agosto jornada de la mañana.....	86
Tabla 7. Resumen estadístico mes de agosto jornada de la mañana	86
Tabla 8. Resultados de laboratorio mes de agosto jornada de la tarde.	87
Tabla 9. Resumen estadístico mes de agosto jornada de la tarde.....	87
Tabla 10. Resultados de laboratorio mes de septiembre jornada de la mañana...	87
Tabla 11. Resumen estadístico mes de septiembre jornada de la mañana.....	87
Tabla 12. Resultados de laboratorio mes de septiembre jornada de la tarde.	88
Tabla 13. Resumen estadístico mes de septiembre jornada de la tarde.....	88
Tabla 14. Resultados de laboratorio mes de octubre jornada de la mañana.	89
Tabla 15. Resumen estadístico mes de octubre jornada de la mañana.....	89
Tabla 16. Resultados de laboratorio mes de octubre jornada de la tarde.	90
Tabla 17. Resumen estadístico mes de octubre jornada de la tarde.....	90
Tabla 18. Resultados de laboratorio mes de noviembre jornada de la mañana....	92
Tabla 19. Resumen estadístico mes de noviembre jornada de la mañana	92
Tabla 20. Resultados De laboratorio mes de noviembre jornada de la tarde.	93
Tabla 21. Resumen estadístico mes de noviembre jornada de la tarde	93
Tabla 22. Resultados de laboratorio mes de diciembre jornada de la mañana.	94
Tabla 23. Resumen estadístico mes de enero jornada de la mañana.....	94
Tabla 24. Resultados de laboratorio mes de diciembre jornada de la tarde.....	95
Tabla 25. Resumen estadístico mes de diciembre jornada de la tarde	95
Tabla 26. Resultados de laboratorio mes de enero jornada de la mañana.	96
Tabla 27. Resumen estadístico mes de enero jornada de la mañana.....	96



Tabla 28. Resultados de laboratorio mes de enero jornada de la tarde.....	97
Tabla 29. Resumen estadístico mes de enero jornada de la tarde	97
Tabla 30. Resultados de laboratorio mes de marzo jornada de la mañana.....	97
Tabla 31. Resumen estadístico mes de marzo jornada de la tarde.....	97
Tabla 32. Resultados de laboratorio mes de marzo jornada de la tarde.....	108
Tabla 33. Resumen estadístico mes de marzo jornada de la tarde.....	108
Tabla 34. Resultados de laboratorio mes de abril jornada de la mañana.....	109
Tabla 35. . Resumen estadístico mes de abril jornada de la mañana.....	109
Tabla 36. Resultados de laboratorio mes de abril jornada de la tarde	1140
Tabla 37. Resumen estadístico mes de abril jornada de la tarde.....	115
Tabla 38. Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la mañana.....	116
Tabla 39. Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la mañana.....	117
Tabla 40. Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la tarde	1182
Tabla 41. Resumen estadístico mes de mayo jornada de la tarde	1192
Tabla 42. . Resultados de laboratorio mes de junio jornada de la mañana....	120
Tabla 43. Resumen estadístico mes de junio jornada de la mañana	121
Tabla 44. . Resultados de laboratorio mes de junio jornada de la tarde.....	104
Tabla 45. . Resumen estadístico mes de junio jornada de la tarde	104
Tabla 46. Resultados de laboratorio mes de julio jornada de la mañana.....	105
Tabla 47. Resumen estadístico mes de junio jornada de la tarde.....	105
Tabla 48. Resultados de laboratorio primera perforación mes de septiembre de 2010..	106
Tabla 49. Resultados de laboratorio segunda perforación mes de octubre de 2010....	106
Tabla 50. Resultados de laboratorio tercera perforación mes de diciembre de 2010.....	107
Tabla 51. Resultados de laboratorio cuarta perforación mes de enero de 2011.....	107
Tabla 52 .Resultados de laboratorio quinta perforación mes de febrero 2011.....	108
Tabla 53. Resumen estadístico de los parámetros geomecánicos de las muestras inalteradas.....	161



Tabla 54. Resultados de laboratorio primera perforación mes de marzo de 2012.....	109
Tabla 55. Resultados de laboratorio segunda perforación mes de abril de 2012...	109
Tabla 56. . Resultados de laboratorio tercera perforación mes de diciembre de 2010.....	167
Tabla 57 .Resultados de laboratorio cuarta perforación mes de mayo de 2012.....	168
TABLA 58. Resultados de laboratorio quinta perforación mes de junio 2012.....	111
TABLA 59.Resultados de laboratorio sexta perforación mes de julio 2012.....	111
Tabla 60. Resumen estadístico de los parámetros geo mecánicos de las muestras inalteradas.....	112
Tabla 61. Perfil estratigráfico general.....	113
Tabla 62. Bese de datos estación climatológica carder mes de julio de 2010.....	114
Tabla 63. Bese de datos estación climatológica carder mes de agosto de 2010...	115
Tabla 64. Resultados base de datos estación climatológica carder mes de septiembre de 2010.....	116
Tabla 65. Resultados base de datos estación climatológica carder mes de octubre de 2010.....	117
Tabla 66. Resultados base de datos estación climatológica carder mes de noviembre de 2011.....	118
Tabla 67. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Diciembre De 2011.....	119
Tabla 68. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Enero De 2011.....	120
Tabla 69. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Febrero De 2011.....	121



Tabla 70. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Marzo De 2011.....	122
Tabla 71. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De ABRIL De 2011.....	123
Tabla 72. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De mayo De 2011.....	124
Tabla 73. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De junio De 2011.....	125
Tabla 74. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De julio De 2011.....	126
Tabla 75. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica Carder Mes De agosto De 2011.....	127
Tabla 76. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	129
Tabla 77. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	132
Tabla 78. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	134
Tabla 79. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	138



Tabla 80. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	141
Tabla 81. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	144
Tabla 82. Tabla de datos lluvia acumulada quincenal, mensual y cuarenta y cinco días con contenido de humedad para periodos cortos (6 meses).....	149
Tabla 83. Tabla de datos lluvia acumulada quincenal, mensual y cuarenta y cinco días con contenido de humedad para periodos largos (12 meses).....	150
Tabla 84. Tabla de datos para hallar evapotranspiración periodos cortos (6 meses)...	151
Tabla 85. Tabla de datos para hallar evapotranspiración periodo 12 meses.....	153
Tabla 86. Datos obtenidos de saturación, contenido de humedad y precipitación.	156
Tabla 87. Datos obtenidos de saturación, contenido de humedad y precipitación.	158
Tabla 88. Datos para realizar la prueba en el programa PC-STABLE.....	161
Tabla 89. Datos para realizar la prueba en el programa PC-STABLE.....	161
Tabla 90. Resultado factor de seguridad sondeo-1.....	162
Tabla 91. Resultado factor de seguridad sondeo-2.....	162
Tabla 92. Datos para realizar la prueba en el programa PC-STABLE.....	167
Tabla 93 Resultado factor de seguridad sondeo-1.....	168



LISTA DE ANEXOS

Anexo A; Registro fotográfico del entorno y proceso de laboratorios.....	181
Anexo C; Resultados de laboratorio corte directo sondeo 1.	185
Anexo D; resultado de laboratorio corte directo sondeo 2.....	188
Anexo E; Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa.....	191
Anexo F; Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y los índices de plasticidad de suelos cohesivos	194
Anexo G; Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.....	201
Anexo H; Métodos de ensayos para determinar la resistencia a la compresión confinada de suelos cohesivos.	205
Anexo I; Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas.....	212
Anexo J; Archivo magnético (CD).	219



INTRODUCCIÓN

Se conoce con el nombre genérico de talud cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las masas de tierras. No hay duda de que el talud constituye la estructura más compleja de las obras residenciales y de las vías terrestres; por eso es preciso analizar la necesidad de definir criterios de estabilidad. Los deslizamientos en taludes ocurren de muchas maneras y existe cierto grado de incertidumbre en su predicción. Sin embargo, conocer los deslizamientos que han ocurrido en el área de interés en nuestro caso “el parque metropolitano del café “de la ciudad de Pereira, constituye un buen punto para la detención y evaluación de potenciales deslizamientos futuros.

En general las causas de los deslizamientos pueden ser externas o internas las externas producen aumentos en los esfuerzos cortantes actuantes sin modificar la resistencia al esfuerzo cortante del material. El aumento en la altura del talud o al hacerlo más escarpado son causas de este tipo también lo son la colocación de cualquier tipo de sobrecarga en la corona del talud o la ocurrencia de sismos.

Las internas son las que ocurren sin cambio en las condiciones exteriores del talud. Deben ligarse siempre a una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo constitutivo. El aumento de presión de poro o la disipación de la cohesión son causa de esta clase. Por esta razón, se han desarrollado estudios del riesgo y de la geología tanto local como regional, así mismo se han desarrollado metodologías para la evaluación de la amenaza y riesgo de este tipo de eventos. Entre estos estudios se encuentran determinaciones de umbrales de lluvia detonantes a nivel nacional y local de deslizamientos, con el fin de mitigar estos eventos buscando la manera de prevenirlos antes de que estos ocurran, utilizando los análisis de estabilidad y exploración geotécnica con sus respectivos ensayos de laboratorio los cuales arrojan unos valores de gran importancia a la hora de diseñar obras de estabilidad o de construcción.

Nuestro objeto de estudio es parametrizar de manera periódica el comportamiento mecánico de los suelos compuestos por cenizas volcánicas 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 de Pereira.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Pereira, fue fundada el 30 de agosto de 1863 y erigido municipio el 20 de enero de 1870. Se encuentra localizado en el llamado “Triángulo de Oro” conformado por Bogotá, Medellín y Cali en la vertiente occidental de la Cordillera Central, desde los 5.000 m.s.n.m. en el Nevado de Santa Isabel hasta los 900 m.s.n.m. en el Río Cauca sobre los sectores oriental y occidental del municipio respectivamente. (Ver Figura 1).

Pereira conforma el Área Metropolitana Centro Occidente con los municipios de Dosquebradas y La Virginia, además pertenece a la Subregión 1 (ver Figura 1), con los municipios de Dosquebradas, Santa Rosa de Cabal y Marsella; de acuerdo al proceso de Planificación Ambiental del Territorio realizado por la CARDER; ya que estos cuatro municipios presentan características biofísicas, socioeconómicas y culturales similares, además de concentrarse allí la mayoría de la población y los procesos económicos y sociales más significativos del departamento.





Características Geográficas de Pereira

Altura sobre el nivel del mar	1.411 m
Superficie	609 km ²
Temperatura promedio	21°C
Precipitación Media Anual	2.108 mm
Superficie predial del municipio	60.323,1 hectáreas
Población Total Censo 1993	414.013 habitantes
Población Urbana	351.912 habitantes
Población Rural	62.101 habitantes

Fuente: IGAC. Risaralda Características Geográficas. 1995

Movimientos en Masa

Movimientos en masa identificados en el municipio

SECTOR/ PROCESO	CARACTERÍSTICAS/ LOCALIZACIÓN
MOVIMIENTOS DE MASA ACTIVOS (ÁREA URBANA)	
Movimientos de grandes dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> - Laderas sur y norte de la Quebrada la Dulcera a la altura de los barrios San Nicolás y El Jardín, laderas de la quebrada La Arenosa a nivel del Barrio San Nicolás, vertiente oriental de la Quebrada Letras en el Barrio Conquistadores, ladera de la vía de acceso al Barrio Villa Cecilia, vertiente sur del Río Otún entre las calles 10 y 45, el talud de la vía Sesteadero- La Popa, la ladera compartida entre el Barrio Ciudad Jardín y Central, ladera sur del Río Consota a la altura del Barrio Caracol- La Curva, La Florida, La Laguna, Nacederos, Matecaña y algunos taludes del Barrio El Plumón, entre otros. - Ladera norte del Río Otún y en la vertiente sur a la altura del Barrio Paz del Río. - Barrio Catalán
Movimientos de pequeñas dimensiones	Barrios de la ciudad: Central, Caracol- La Curva, Nuevo México, San Martín de Loba, Villa Nohemi, San Nicolás, Villa Mery, Belmonte Bajo, Belmonte Alto, La Albania, El Plumón, La Laguna, La Florida, Boston, Nacederos, Matecaña, Campo Alegre, Galicia, El Danubio y Monserrate
Sector Rural	<ul style="list-style-type: none"> - Deslizamiento de Llano Grande - Sector del Cofre- Puerto Caldas
Reptación	Corregimiento de Arabia sector la Riviera
Caída de bloques	Ladera sur de la corriente principal del Río Otún (casco urbano), al nivel del Barrio El Triunfo

Pereira–Armenia; supra yacido por una espesa capa de suelos producto de la meteorización de materiales piroclásticos (cenizas volcánicas); con una precipitación promedio anual entre los 2200 y 2400 mm/año (según datos del IDEAM) y localizada en la denominada ZONA DE ALTO RIESGO SÍSMICO (INGEOMINAS, 1998); es considerado, según estudios de la Corporación Autónoma Regional de Risaralda CARDER y la Oficina Municipal para la



Prevención y Atención de Desastres de Pereira OMPAD, un municipio de alta susceptibilidad a la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

Tabla 1. Afectación Del Sismo 25 Enero Del Año 1999

AFECTACIÓN TALUDES SISMO DEL 25 DE ENERO DE 1999	
Infraestructura vial y taludes	5 puentes
	9 tramos viales
	167 taludes
	Talud Bocatoma

Fuente: Archivo OMPAD Pereira, afectación sismo 25 de enero de 1999

Regularmente y desde la visión geotécnica y la mecánica de suelos, la única alternativa para el diagnóstico, evaluación, diseño y ejecución de medidas de estabilización de taludes, han sido los análisis de estabilidad, mediante los cuales se evalúan los parámetros físico-mecánicos de interés (granulometría de los suelos; pesos unitarios, cohesión y ángulo de fricción) que posibilitan, a través de cálculos numéricos (a partir de la utilización de softwares y/o métodos específicos de estabilización de taludes), la definición de las medidas mínimas pero más efectivas en el proceso de corrección y/o estabilización de taludes.

El hecho de utilizar con exclusividad, técnicas que históricamente han ofrecido la mayor confiabilidad en los análisis de estabilidad, como ha sido el caso particular de los métodos clásicos de estabilidad de taludes, mejorados en la actualidad a través de la utilización de software temáticos: PC-STABLE; GEO-SLOPE, entre otros; no excluye la exploración de nuevos elementos que pueden complementar con mayor eficiencia y veracidad las reales condiciones de estabilidad de taludes conformados por materiales resultantes de la alteración de cenizas volcánicas, como de hecho ocurre en la ciudad de Pereira y en donde tradicionalmente los expertos en geotecnia sólo han considerado los parámetros geomecánicos clásicos y han desconocido la injerencia de parámetros como la mineralogía, el arreglo estructural interno (micro-fábrica), y la variación de los parámetros geomecánicos clásicos en períodos cortos debido a la presencia de factores externos: precipitación, aguas sub-superficiales y cambios climáticos.



La determinación conjunta de los diferentes elementos que se conjugan, o deberían conjugarse, en los análisis de estabilidad, permitirá optimizar la aplicación de recursos y garantizar la ejecución de medidas de estabilización más eficientes y duraderas y, de manera complementaria, se tendrá un mejor y mayor conocimiento de la relación que existe entre los parámetros geomecánicos clásicos utilizados en los análisis de estabilidad, algunas propiedades físico-químicas y mineralógicas y algunas variables climatológicas, de los suelos que conforman superficies inclinadas.

Se propone entonces, sin renunciar a la valoración de los parámetros geomecánicos clásicos utilizados en los análisis de estabilidad, complementar las valoraciones y estudios de estabilidad de taludes con la caracterización físico-química, mineralógica y micro-fábrica de los suelos arcillosos, derivados del intemperismo de cenizas volcánicas, tal como lo sugiere Luis I. González Vallejo (Ingeniería Geológica, 2002), y de esta manera poder establecer algún tipo de relación entre los diferentes elementos a valorar y la variabilidad climática local, con las correspondientes aplicaciones prácticas en el campo de la estabilidad de superficies inclinadas y/o la susceptibilidad de ocurrencia de procesos de remoción en masa.



2. FORMULACIÓN

A partir de las anteriores premisas, y una vez argumentada la potencial relación que existe entre parámetros geomecánicos estándares (φ = ángulo de fricción; γ = peso específico; c = cohesión; ω = contenido de humedad; estratigrafía y límites de Atterberg), se plantean el siguiente interrogante:

PREGUNTA 1.

¿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?



3. OBJETIVOS

3. 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 largos (12 meses), que pueda considerarse como un condicionador de las propiedades y estabilidad geotécnica de los suelos.

3. 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 el parque metropolitano del café.
- 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 el parque metropolitano del café.
- 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 largos (12 meses), en taludes conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas en el talud ubicado en el parque metropolitano del café.



4. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto surgió a raíz del trabajo de investigación de la línea de estudio geotécnico de los suelos de origen de cenizas volcánicas del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad del libre seccional Pereira, el cual tiene como objetivo general el estudio de las 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 En la ciudad de Pereira.

La ciudad de Pereira, ubicada en el eje cafetero, es una de las áreas de mayor actividad sísmica en Colombia, demostrado tanto por el reciente sismo del 25 de enero de 1999, ocasionado por una falla superficial en la corteza continental.

El grado de devastación producida por el sismo del Quindío [1999], en toda la región cafetera, puso en evidencia la pobre o nula preparación que se tiene para afrontar este tipo de eventos, y el alto grado de desconocimiento de las propiedades de los materiales del subsuelo en la región.

En una región con nivel de amenaza sísmica alta, en la cual predominan suelos de consistencia suave de espesor considerable apoyados directamente sobre materiales cuyo contraste de rigidez es notable, se deben adelantar investigaciones tendientes a conocer con la mayor precisión posible, el comportamiento dinámico de dichos suelos.

Esta investigación pretende iniciar de manera contundente un proceso continuo de acumulación de información relacionada con el comportamiento dinámico de los Suelos de Origen de cenizas volcánicas , propios del Conocido Eje Cafetero Colombiano, que sirva para mitigar cada vez más las incertidumbres relacionadas con los problemas de dinámica de suelos y de interacción suelo – estructura en esta región.

Acorde con el registro histórico de desastres del Municipio de Pereira, adelantado por la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres desde el año 1900 hasta el año 2005, se tiene un total de 379 eventos del tipo deslizamientos que de una u otra forma han impactado a comunidades e infraestructura y adicionalmente han generado enormes secuelas sobre el desarrollo local y regional. La ocurrencia de tales eventos se resume en la siguiente tabla:



Tabla 2. Registro histórico de deslizamientos en el municipio de Pereira.

CANTIDAD DE EVENTOS	MUERTOS	DAMNIFICADOS	VIVIENDAS DESTRUIDAS	COSTOS (miles de \$)
379	189	3849	182	36372274

Fuente: OMPAD Pereira (Registro histórico de desastres)

Los continuos deslizamientos que ocurren en la ciudad de Pereira y en general en el eje cafetero, ha obligado a las autoridades locales y regionales, así como a consultores privados, a implementar estudios geotécnicos tendientes a diagnosticar las condiciones del subsuelo y a determinar las potenciales causas de la ocurrencia de los procesos de remoción en masa que han impactado el territorio municipal. Sin embargo, es importante precisar que 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, y por ello cobra especial atención e interés el poder determinar las potenciales relaciones existentes entre variabilidad climática local, y los parámetros físico-mecánicos clásicos utilizados en los análisis de estabilidad de taludes conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas.

De hecho, y como un indicador de la dinámica de otros factores adicionales que intervienen en los procesos de estabilidad de taludes, complementarios a los parámetros físico-mecánicos clásicos evaluados, son los diferentes procesos (deslizamientos) que se dan, posteriores a la estabilización y/o corrección de algunos taludes de la región.



5. ANTECEDENTES

Las cenizas volcánicas son generadas a partir de la fragmentación del magma y de materiales en el cono del volcán

Prevenientes de erupciones anteriores (Wohletz y Krinsley, 1982; Büttner et al., 1999). Tres mecanismos han sido identificados como los principales generadores de cenizas volcánicas: la ruptura del magma debido a vesiculación, la fragmentación del magma debido a los elevados esfuerzos térmicos y la pulverización de la lava en las paredes de la chimenea del volcán durante la erupción. El mecanismo de formación de las cenizas define la morfología en bloque o vesicular. Las cenizas volcánicas son generadas a partir de la fragmentación del magma y de materiales en el cono del volcán. Las cenizas en bloque tienen superficies planas resultado de la fractura vítrea del magma. Las cenizas vesiculares pueden tener texturas de gota de agua o superficies formadas por la ruptura del material a través de zonas que presentaban burbujas de aire (Wohletz y Krinsley, 1982).

La cantidad de agua consumida en la transferencia de energía térmica en energía mecánica también afecta la producción de cenizas volcánicas. Las erupciones secas (agua completamente consumida) llevan a la formación de capas de lapilli densamente laminadas y capas espesas de cenizas (escala: dm – m). Las erupciones húmedas (agua parcialmente consumida) llevan a capas de cenizas de bajo espesor (escala: cm) (Büttner et al., 1999).

La energía de la erupción volcánica controla el tamaño de la nube de cenizas y la altura que ésta alcanza. Las fuertes corrientes de viento pueden elevar y mover la nube de cenizas varios kilómetros lejos de la fuente. A medida que las partículas van cayendo la nube se hace menos densa hasta desaparecer. Las partículas transportadas en esta nube pueden permanecer suspendidas en la atmósfera por un período que puede variar de días a meses (Riley et al., 2003).

La morfología y textura de las cenizas volcánicas varía desde que son emanadas hasta su depositación. Las propiedades superficiales de las partículas depositadas dependen ampliamente de la abrasión que soportan durante su transporte. La distancia de transporte depende de características de las partículas que incluyen forma, esfericidad, rugosidad, superficie específica, composición química y carga electrostática (Riley et al., 2003). Estas propiedades afectan la interacción entre partículas y consecuentemente determinan la separación o agregación de las mismas. La forma y superficie de las partículas afectan la velocidad de depositación y la distancia de viaje; a medida que se incrementa el área superficial se produce una mayor fuerza de dragado y consecuentemente aumenta la distancia al lugar

Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6(2) 169



de depositación. Adicionalmente, las partículas más finas ($< 20 \mu\text{m}$) pueden acercarse debido a la atracción electrostática generada por la presencia de fluidos o gases como el ácido sulfúrico. Este mecanismo explica la ocurrencia de partículas muy finas cerca de los volcanes, depositadas en forma de agregaciones (Gilbert et al., 1991).

Las cenizas están compuestas predominantemente por minerales primarios livianos (contenido: 70-95%, $G_S < 2,8$) y en menor proporción por minerales pesados ($G_S > 2,8$) (Shoji et al., 1993). Por lo general, los minerales presentes incluyen feldespatos ($G_S = 2,2 - 2,4$), cuarzo ($G_S = 2,6 - 2,65$), hornblenda ($G_S = 3,0 - 3,4$), hiperestena ($G_S = 3,2 - 3,9$), augita ($G_S = 3,2 - 3,6$), magnetita ($G_S = 4,5 - 5$), biotita ($G_S = 2,9 - 3,4$), apatita ($G_S = 3,1 - 3,2$) y principalmente vidrio volcánico ($G_S = 2,2 - 2,4$) (Nanzyo, 2004).

El vidrio volcánico es un mineral que tiene una estructura pobremente ordenada y una resistencia muy baja a la meteorización química (Tazaki et al., 1992; Shoji et al., 1993). Este mineral primario juega un importante papel en la formación de los minerales actualmente encontrados.

Las cenizas volcánicas son convencionalmente clasificadas de acuerdo con su composición, en particular con base en el contenido de sílice. Decreciendo en el contenido de sílice las cenizas se clasifican en riolíticas, dacíticas, andesíticas, basalto-andesíticas (Shoji et al., 1993). La mayor parte de las cenizas que han llevado a la formación de suelos en Colombia son de tipo dacítico, ricas en feldespato plagioclasa, vidrio volcánico, anfíbola y piroxena y pobres en cuarzo (Arango, 1993).

Suelos residuales derivados de las cenizas volcánicas se desarrollan a través de procesos de alteración física y química de los depósitos de cenizas volcánicas (disolución, lixiviación y precipitación de compuestos). Estos procesos transforman los minerales, la forma y el tamaño de las partículas, la fábrica y la porosidad. Su influencia es controlada por las condiciones climáticas y el tiempo. Las condiciones climáticas (precipitación, temperatura, humedad y viento) determinan la presencia de fluidos disponibles para las reacciones químicas, la tasa a la cual estas reacciones ocurren, la migración de compuestos, la erosión, entre otros procesos (Chadwick et al., 2003; Townsend, 1985). El tiempo por su parte, gobierna la secuencia para la síntesis de minerales secundarios y la distribución de tamaños de partículas.

El efecto del material parental es más importante en las etapas iniciales de la formación del suelo que en etapas avanzadas. La meteorización del material parental depende de la presencia de minerales ácidos o básicos. En general, los minerales ácidos (e.g. cuarzo, feldespato, hornblenda, mica) son más resistentes a la meteorización que los minerales básicos (e.g. olivino, piroxena y plagioclasa



cálcico; Townsend, 1985). Durante la meteorización generalmente se obtiene una composición elemental rica en Si, Al y cationes base (e.g. Na, Ca). El Si y los cationes base son disueltos y removidos de las capas superficiales y el Al tiende a permanecer. A medida que el clima se hace más húmedo ocurre mayor disolución y se alcanza a remover Al progresivamente (Ziegler et al., 2003; Nanzyo, 2004). Los mecanismos de disolución y lixiviación son muy importantes para la formación de los suelos derivados de cenizas volcánicas ya que llevan a zonas superficiales altamente porosas y la disponibilidad de las soluciones necesarias para la síntesis de minerales secundarios.

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 (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 (lofana, 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-detritico 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 3. Microfábrica De arcillas y propiedades geotécnicas

TIPO DE FÁBRICA	POROSIDAD	RESISTENCIA	COLAPSIBILIDAD	SUSCEPTIBILIDAD	IMPLICACIONES GEOTÉCNICAS
Turbostrática 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
Panel 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 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 4. 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)



6. MARCOS DE REFERENCIA

6. 1. MARCO TEÓRICO

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 Departamentos como 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 1 muestra la distribución de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia y la ubicación de los principales volcanes.

Ahora bien, J. Suárez (1998), afirma que la meteorización de rocas y cenizas volcánicas conducen a la formación de montmorillonita, halloysitas, óxidos de hierro y aluminio en las etapas iniciales de la meteorización, y finalmente se pueden formar caolinitas, esmectitas y gibsitas. Tal secuencia de alteración permite inferir, asumiendo lo que J. Suárez (1998) cita de Lohnes y Demirel (1973): “a medida que el proceso de meteorización continúa los contenidos de caolinita disminuyen y se alteran los demás compuestos a Fe_2O_3 y Al_2O_3 . Existen investigaciones que demuestran la disminución de los contenidos de caolinita, con el aumento del promedio anual de lluvias”, que a medida que se incrementan los contenidos de caolinita en el suelo, se incrementa la resistencia al cortante, y consecuentemente la estabilidad de las superficies inclinadas.

Tal premisa se fundamenta en las propiedades físico-mecánicas de la caolinita, la halloysita, la montmorillonita y la de los sesquióxidos (óxidos de hierro y aluminio), presentes en un suelo, en donde se acepta, según J. Suárez (1998) que la caolinita presenta un comportamiento normal en los ensayos, en términos de baja



a media plasticidad y permeabilidad; mientras que la montmorillonita y halloysita disminuyen la resistencia al corte a medida que se incrementa la humedad.

No obstante, también se ha definido por muchos investigadores que la altura, verticalidad del talud (pendiente) y cobertura vegetal, en taludes conformados por cenizas volcánicas, también inciden en sus condiciones de estabilidad, determinando su potencial comportamiento mecánico, tal como sucede en la región del “eje cafetero”.

Acorde con Braja M. Das (2001), el factor de seguridad (FS) de una ladera, usualmente se expresa desde el enfoque clásico de un análisis de estabilidad global, como el cociente mínimo entre la resistencia media al esfuerzo cortante (τ_f), y el esfuerzo cortante medio que actúa en la potencial superficie de falla (τ_d); este esfuerzo actuante lo induce principalmente el peso del material adyacente al talud. Si se considera la existencia de una ladera, se debe asumir que $\tau_f > \tau_d$ y que por tanto el cociente FS es mayor que la unidad. La condición de falla inminente en una ladera se presenta cuando se cumple $\tau_f = \tau_d$ y por tanto $FS = 1$. Para que ello ocurra, el esfuerzo cortante medio actuante debe aumentar y/o la resistencia media al esfuerzo cortante del suelo debe disminuir. Los factores externos e internos a la ladera determinan los cambios que pueden sufrir estas dos variables, debido a fenómenos naturales o artificiales. Entre los primeros, que inciden directamente en el valor de τ_d , se pueden considerar las posibles cargas externas aplicadas, la modificación de la pendiente o de la altura de la ladera, etc.

Por otro lado, entre los segundos se pueden englobar los mecanismos que provocan una reducción de la resistencia cortante (τ_f); tales como el intemperismo y la erosión, que generan disgregación y descomposición de materiales. Sin embargo, el mecanismo más simple y rápido para modificar la resistencia es la generación de presión de poro (presión en el agua que ocupa los intersticios del suelo o las grietas de formaciones rocosas).

Tal conceptualización ratifica la enorme importancia de implementar procesos investigativos tendientes a diagnosticar, de manera periódica y sistemática, las relaciones existentes entre la ocurrencia y/o potencial ocurrencia de procesos de remoción en masa (deslizamientos translacionales, rotaciones, planares), en taludes compuestos por cenizas volcánicas, la variabilidad climática local y las propiedades mineralógicas, físico-mecánicas y la micro-fábrica de los suelos arcillosos, que puedan considerarse determinantes en los procesos de inestabilidad de taludes; máxime cuando todos los investigadores concuerdan en las complejidades asociadas al tema.

De hecho en la región, y a partir de la construcción de corredores viales, se ha podido verificar la complejidad de los suelos derivados de cenizas volcánicas, cuando la realización de cortes y excavaciones han configurado taludes aparentemente estables, y con apropiada cobertura vegetal (prado o maní forrajero), y estos han fallado. La *Figura 1* detalla las características de los cortes y el tipo de falla asociado.



Figura 2. Detalle de deslizamiento superficial en talud estabilizado

Se plantea entonces la importancia de poder evaluar las relaciones locales, en taludes conformados por cenizas volcánicas, entre las variaciones climáticas y los



parámetros físico-mecánicos, mineralógicos y de fábrica de materiales arcillosos y su incidencia en la potencial ocurrencia de procesos de remoción en masa, dado el carácter complejo e irreversible de los materiales alofánicos en estado seco y la incidencia de factores externos como el tipo de cobertura vegetal y las intervenciones antrópicas en el incremento de los esfuerzos cortantes promedios en superficies inclinadas.

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. Este criterio de compactación consiste en conseguir en construcción la misma densidad que presenta el suelo en su condición de humedad natural (Millán, comunicación personal, Pereira). Con esto se trata de simular la estructura inicial del suelo, la cual presenta, por lo general, adecuado comportamiento resistivo.



5.3.1 6. 1. 1 Contenido de Humedad INV E-122

La aplicación práctica de la determinación del contenido de agua en un material, es conocer la masa del agua removida al secar dicho material cuando está húmedo (espécimen de prueba) hasta peso constante, en un horno controlado a $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{ F}$); y usar este valor como la masa del agua en el espécimen de prueba. La masa del material remanente después de secado en el horno, corresponde a la masa de las partículas sólidas. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca.

(Tomado de Normas del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Tomo I – Suelos. E – 122: Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Instituto Nacional de Vías. 2007)

6. 1. 2 Limite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad INV E-125 y 126

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

(Tomado de Normas del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Tomo I – Suelos. E – 125 y 126: Determinación del límite líquido de los suelos y Límite plástico e índice de plasticidad. Instituto Nacional de Vías. 2007)

6. 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.
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. (Mecánica de suelos, tomo 1; 2005)



6. 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.

6. 1. 2. 3 Límite plástico

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm. Esto se realiza consecutivamente



hasta que no es posible obtener el cilindro de la dimensión deseada. Con ese contenido de humedad, el suelo se vuelve quebradizo (por pérdida de humedad) o se vuelve pulverulento. Se mide el contenido de humedad, el cual corresponde al Límite Plástico. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición (Tomado de wikipedia).

6. 1. 3 Granulometría INV E-123 y 124

Existen diferentes métodos, dependiendo de la mayor proporción de tamaños que existen en la muestra que se va a analizar. Para las partículas Gruesas, el procedimiento utilizado es el Método Mecánico o Granulometría por Tamizado. Pero para las partículas finas, por dificultarse más el tamizado se utiliza el Método del Sifoneado o el Método del Hidrómetro, basados en la Ley de Stokes.

Granulometría por Tamizado

Es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominado a la fracción menor (Tamiz No 200) como limo, Arcilla y Coloide. Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños.

(Tomado de Universidad Rafael Urdaneta - Facultad de Ingeniería - Escuela de Civil - Análisis Granulométrico de los Suelos)

6. 1. 4 Corte Directo INV E-154

El ensayo consiste en: (a) Colocación de la muestra de ensayo en el dispositivo de corte directo; (b) Aplicación de una carga normal determinada; (c) Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra; (d) Consolidación de la muestra bajo la carga normal; (e) Liberación de los marcos que sostienen la muestra; (f) Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra. Generalmente tres o más muestras son ensayadas, cada una bajo fuerza normal diferente, para determinar los efectos sobre la resistencia al corte y las deformaciones. El intervalo de las cargas normales usadas deberá ser el apropiado y en concordancia para las condiciones del suelo investigado.

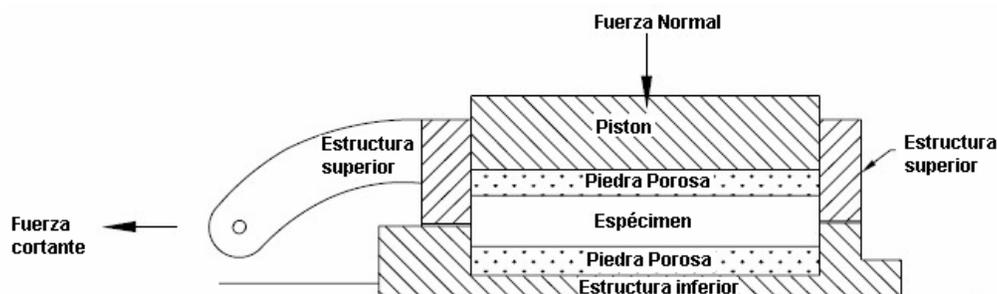


Fig. X.X: Dispositivo para el ensayo de Corte Directo

(Tomado de Normas del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Tomo I – Suelos. E – 154: Determinación de la resistencia al corte. Método de corte directo (CD) (Consolidado drenado). Instituto Nacional de Vías. 2007).

6. 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 cero (ya que al suelo lo rodea sólo la presión atmosférica) y que el ángulo de fricción interna (Φ) 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 (Universidad Católica de Valparaíso; guía para laboratorio compresión no confinada).

6. 1. 6 Relaciones volumétricas y gravimétricas.

El suelo es un material constituido por el esqueleto de partículas sólidas rodeado por espacios libres (vacíos), en general ocupados por agua y aire. Para poder describir completamente las características de un depósito de suelo es necesario expresar las distintas composiciones de sólido, líquido y aire, en términos de algunas propiedades físicas.

En el suelo se pueden distinguir tres fases como:

Fase sólida: formada por partículas minerales del suelo, incluyendo la capa sólida adsorbida.

Fase líquida: generalmente agua (específicamente agua libre), aunque pueden existir otros líquidos de menor significación.

Fase gaseosa: comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases, por ejemplo: vapores de sulfuro, anhídridos carbónicos, etc.

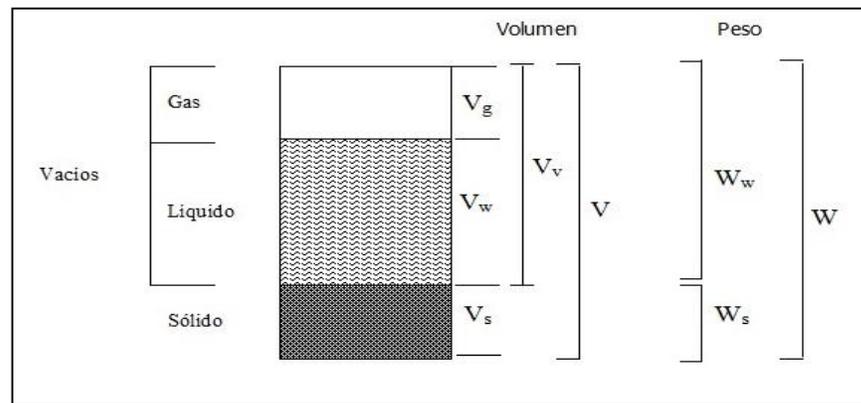


Figura 2 relaciones volumétricas.

La capa viscosa del agua adsorbida, que presenta propiedades intermedias entre la fase sólida y la líquida, suele incluirse en esta última pues es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a una fuerte evaporación (secado).

Pese a que la capa adsorbida y el contenido de materia orgánica son muy importantes desde el punto de vista de las propiedades mecánicas del suelo, no es preciso considerarlos en la medición de pesos y volúmenes relativos de las tres fases principales.

Sus influencias se tomarán en cuenta más fácilmente en etapas posteriores del estudio de ciertas propiedades de los suelos.

Un suelo está totalmente saturado, cuando todos sus vacíos están ocupados únicamente por agua; en estas circunstancias consta, como caso particular, de sólo dos fases: la sólida y la líquida.

Cálculos, para determinar el grado de saturación en los suelos.

$$SAT \ 100\% = \left[\frac{1}{\gamma_d} + \frac{1}{G_s * \gamma_w} \right] * 100$$



6. 1. 7 Evapotranspiración En Los Suelos.

La evapotranspiración real es la tasa de transferencia de agua a la atmósfera que tienen los suelos en un momento determinado, la evapotranspiración ha ganado un lugar realmente importante en la evaluación de los volúmenes de agua involucrados, que teniendo interés en sí mismos, son indispensables en las tareas de planificación y gestión de los recursos hídrico.

La cantidad de agua evapotranspirada, varía día a día con los factores ambientales que actúan sobre las condiciones del suelo y de las plantas, algunos de los principales factores son:

- Radiación solar
- Humedad relativa
- Temperatura
- Viento

Radiación solar. Este término comprende la luz visible y otras formas de energía radiante (radiaciones infrarrojas y ultravioleta).

Humedad relativa. En general si otros factores permanecen constantes, cuando la presión del vapor es mayor, será más lenta la evapotranspiración

Temperatura. Influye en la velocidad en que se difunde el vapor de agua del suelo a la atmósfera, a mayor temperatura para un gradiente dado, más alta es la velocidad de difusión.

Viento. El efecto del viento sobre la evapotranspiración dependerá de las condiciones ambientales. Un aumento en la velocidad del viento, dentro de ciertos límites significa una mayor evapotranspiración, sin embargo, puede decirse que la evapotranspiración aumenta relativamente más, por los efectos de una brisa suave (0 a 3 km/hora), que por vientos de gran velocidad. Se ha observado que estos últimos ejercen más bien un efecto retardante sobre la evapotranspiración.



Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves.

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la evapotranspiración Potencial, para la cual se tendrá en cuenta solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar.

La expresión general es la siguiente:

$$ET_0 = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0,5}$$

Donde:

ET₀ = evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} = temperatura media diaria, °C

R₀ = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)

t_{max} = temperatura diaria máxima

t_{min} = temperatura diaria mínima

Tabla 5. Radiación solar extraterrestre en MJ m⁻² d⁻¹ (Allen et al., 1998)

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9
2	35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6



6. 1. 8 Infiltración en los suelos.

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo, en una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo.

Los factores que afectan la capacidad de infiltración en los suelos son: entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable, y características del fluido.

- Entrada superficial: La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo.
- Transmisión a través del suelo: El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.
- Acumulación en la capacidad de almacenamiento: El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.
- Características del medio permeable: La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo – arenoso, arcilloso-, la vegetación, la estructura y capas de suelos.
- Características del fluido: La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.



Métodos directos para medir la infiltración en los suelos.

Lisímetros: Es un depósito enterrado, de paredes verticales, abierto en su parte superior y relleno del terreno que se quiere estudiar. La superficie del suelo está sometida a los agentes atmosféricos y recibe las precipitaciones naturales. El agua de drenaje es medida, al igual que la humedad y la temperatura del suelo a diferentes profundidades. Los inconvenientes son la necesidad de períodos largos, la reconstrucción del suelo no es adecuada ya que no se reproduce exactamente igual el proceso que el mismo sufrió debido al accionar de la naturaleza y el hombre.

Simuladores de lluvia: Aplican agua en forma constante reproduciendo lo más fielmente el acontecer de la precipitación. Las gotas son del tamaño de las de la lluvia y tienen una energía de impacto similar, comparándose los efectos. Varían en tamaño, cantidad de agua necesaria y método de medición. El área de lluvia es variable entre $0,1 \text{ m}^2$ y 40 m^2 . La diferencia entre precipitación y escorrentía representa la valoración del volumen infiltrado.

Infiltrómetros: Para realizar el ensayo de infiltración en el campo se utiliza el infiltrómetro, es un aparato sencillo, de uno o dos tubos de chapa de diámetro fijo. Se clava en el suelo a una profundidad variable, se le agrega una cierta cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse.

- **Tubos:** Es un tubo de cilíndrico de 0,20 a 0,25 cm de diámetro y un alto de 0,60 m, que se hincan en el suelo, midiéndose el descenso del agua, con el principal inconveniente que el agua infiltrada por el círculo del fondo, en las zonas del suelo a los lados del aparato participan también en la infiltración; dando medidas superiores a la realidad.



- **Infiltrómetros:** Son dos anillos concéntricos, usándose el interior, de 23 cm. de diámetro para determinar la velocidad de infiltración, mientras que el exterior de 35 cm se inunda a las mismas profundidades para disminuir los efectos de frontera en el anillo interior. Los anillos se insertan en el suelo a la profundidad mínima necesaria para evitar las fugas de los mismos. La medición es menor que la anterior y más concordante con la capacidad real del suelo.

El método de Muntz este trabaja con los mismos anillos pero cambia la forma de medir: junto al cilindro interior se entierra una punta, colocándose una determinada cantidad de agua por encima y repitiendo la medición en intervalos de tiempo y descenso del agua.

Los principales inconvenientes, aparte del carácter local de la experiencia, son que el suelo se modifica al clavar el tubo, y no hay efectos de compactación, ni de arrastre de finos, ni del aire.

Se aclara que el terreno no es preparado para el ensayo de infiltración, si no que se hace sobre el terreno natural. Como la medición varía según el estado de humedad inicial existente al momento del ensayo, deben realizarse una serie de ensayos para distintos grados de humedad.

Métodos indirectos para medir la infiltración en los suelos.

Se determina la capacidad de infiltración considerando una cuenca perfectamente controlada, con datos precisos de precipitación, evaporación y escorrentía, se puede determinar la infiltración.

Ensayo de infiltración: Los ensayos de infiltración permiten conocer la variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo, decreciente a medida que transcurre el mismo.



Los ensayos más simples y difundidos son los que se desarrollan con los anillos concéntricos. Los datos obtenidos de campo se vuelcan en una planilla registrándose las distintas alturas de agua y los tiempos correspondientes. Los intervalos de tiempo dependen del suelo donde se hace la medición. Con los datos de altura y tiempo se obtienen los deltas de ambos.

Ecuación de Horton: Desarrolló una ecuación matemática para definir la curva de capacidad de infiltración: $f = f_o + (f_o - f_b) e^{-K * t}$

Donde:

f_o : Capacidad de infiltración inicial ó máxima.

f_b : Capacidad de infiltración básica ó mínima.

K : Constante de decaimiento.

t : Tiempo desde el inicio del ensayo.

Los valores de f_o , f_b y K están asociados a los suelos y a su cubierta vegetal. Se determina f_o en suelo completamente seco y f_b en suelo totalmente saturado.

El postulado de Horton establece que la curva que representa la capacidad de infiltración se manifiesta de esa manera, solo y solo si la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración del suelo analizado. Este principio o postulado es debidamente respetado en el ensayo de infiltración de doble anillo, porque siempre hay agua en superficie que satisface la capacidad de absorción que tiene el suelo en su grado máximo o potencial, cualquiera sea el tiempo que transcurre desde el inicio del ensayo.



6. 1. 9 Gravedades específica

La gravedad específica de un suelo se toma como el valor promedio para granos del suelo. Si en desarrollo de una discusión no se aclara adecuadamente a que gravedad específica se refieren algunos valores numéricos dados, la magnitud de dichos valores puede indicar el uso correcto, pues la gravedad específica de los suelos es siempre bastante mayor a la gravedad específica volumétrica determinada incluyendo los vacíos de los suelos en el cálculo.

El valor de la gravedad específica es necesario para calcular la relación de vacíos de un suelo, se utiliza también en el análisis del hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo.

$$G_s 20^\circ = \frac{(W_s * K)}{(W_s + W_a - W_b)}$$

W_s = peso seco

W_a = picnómetro + agua

W_b = picnómetro + suelo + agua

6. 1. 10 Sistema unificado de clasificación de los suelos (USCS).

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) deriva de un sistema desarrollado por A. Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra. 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.

6. 1. 11 Relación existente entre los movimientos en masa y las lluvias.

En los últimos años han cobrado gran importancia los estudios enfocados hacia la predicción de movimientos en masa y deslizamientos. Las acciones de control y recuperación de áreas afectadas por deslizamientos han pasado a un segundo plano, dando paso, entonces, a metodologías y procedimientos de prevención, con enormes ventajas en el orden social, ya que se evita por completo el impacto que la ocurrencia de un desastre puede ocasionar a la población directamente afectada y comprometida y, desde luego, con notables beneficios en el orden económico porque se ha verificado en múltiples casos que los mecanismos de predicción son mucho menos costosos que las obras y procedimientos de corrección propiamente dichos.

El efecto adverso de la precipitación en la estabilidad de taludes es reconocido desde hace siglos. Una de las consecuencias directas de la precipitación es la infiltración, la cual incrementa el nivel de la superficie freática y, por lo tanto, las presiones intersticiales y el peso unitario total de la masa de suelo. Es conocido, además, que el incremento de las presiones neutras en el suelo, disminuye su resistencia al corte y favorece las condiciones para que la masa de suelo se desestabilice; al mismo tiempo, las lluvias y la consecuente infiltración, reducen la tensión capilar de manera preponderante en los estratos superficiales del perfil estratigráfico y, muy frecuentemente, dependiendo de la permeabilidad de los diferentes estratos, condiciona la formación de niveles de agua temporales



(denominados, por algunos, “niveles colgados”), que simplemente se constituyen en interfaces desfavorables y en claras superficies de falla de procesos de remoción en masa.(Narváez chica, 2007).

No obstante, también se ha definido por muchos investigadores que la altura, verticalidad del talud (pendiente) y cobertura vegetal, en taludes conformados por cenizas volcánicas, también inciden en sus condiciones de estabilidad, determinando su potencial comportamiento mecánico, tal como sucede en la región del “eje cafetero”.

La vegetación contribuye sustancialmente a bajar el nivel de amenaza y el riesgo de ocurrencia de la erosión. La lluvia es parcialmente interceptada por el follaje, amortiguando el impacto de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo. Adicionalmente, las raíces refuerzan las capas superficiales del perfil, creando una malla de refuerzo que protege contra los efectos del flujo de agua.

6. 1. 12 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 lluvias precedentes. De aquí la importancia de la precipitación acumulada en la desestabilización de la ladera.

6. 1. 13 Lluvia acumulada según Mayorga (2003).

En primer lugar se evalúa la lluvia acumulada, como agente detonante de un deslizamiento, y a partir de esta información se determinan sus umbrales, aplicando el método de la lluvia crítica. Este método se basa en el cálculo de la lluvia acumulada, la cual se clasifica por intervalos de tiempo, y con base en éstos, se hace un análisis probabilístico con el fin de obtener los umbrales de lluvia detonante para todo el país. Dicho análisis, se hace utilizando la distribución de Gumbel junto con la elaboración de una curva regresiva de lluvia acumulada.

Una de las conclusiones del estudio indica que aquellas regiones que se encuentran por encima de los 2.728 msnm, presentan los valores más bajos de la lluvia acumulada 322 mm; mientras que aquellas que se encuentran alrededor de los 967 msnm, los suelos necesitan gran cantidad de lluvia acumulada para que se presente un deslizamiento, es decir, que el valor de dicha lluvia esté alrededor de los 1.455 mm. De otra parte, es de anotar que en estas regiones se presentan las mayores precipitaciones del país al año, las cuales alcanzan en promedio los 5.066 mm/año.

6. 1. 14 Formación de suelos derivados de las cenizas volcánicas.

El proceso de formación de los suelos conformados por 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. (Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Lizcano, M.C. Herrera y J.C. Santamarina)

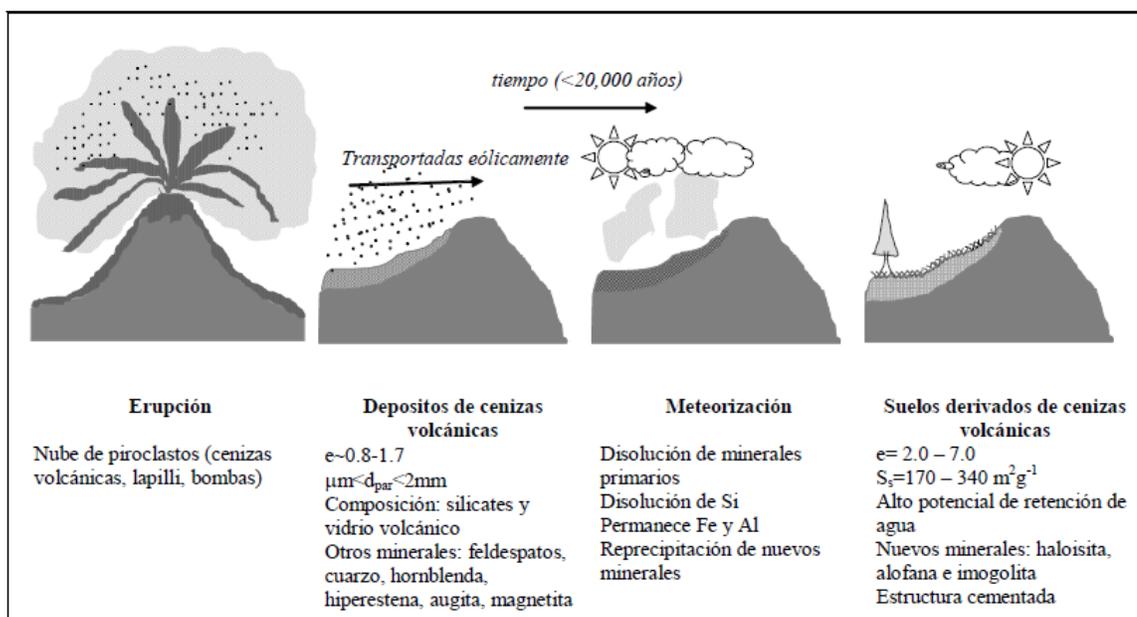


Figura 2. Formación de los suelos derivados de cenizas volcánicas

6. 1. 15 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. (A. Lizcano, M.C. Herrera³ y J.C. Santamarina).

Distribución de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia y la ubicación de los principales volcanes.

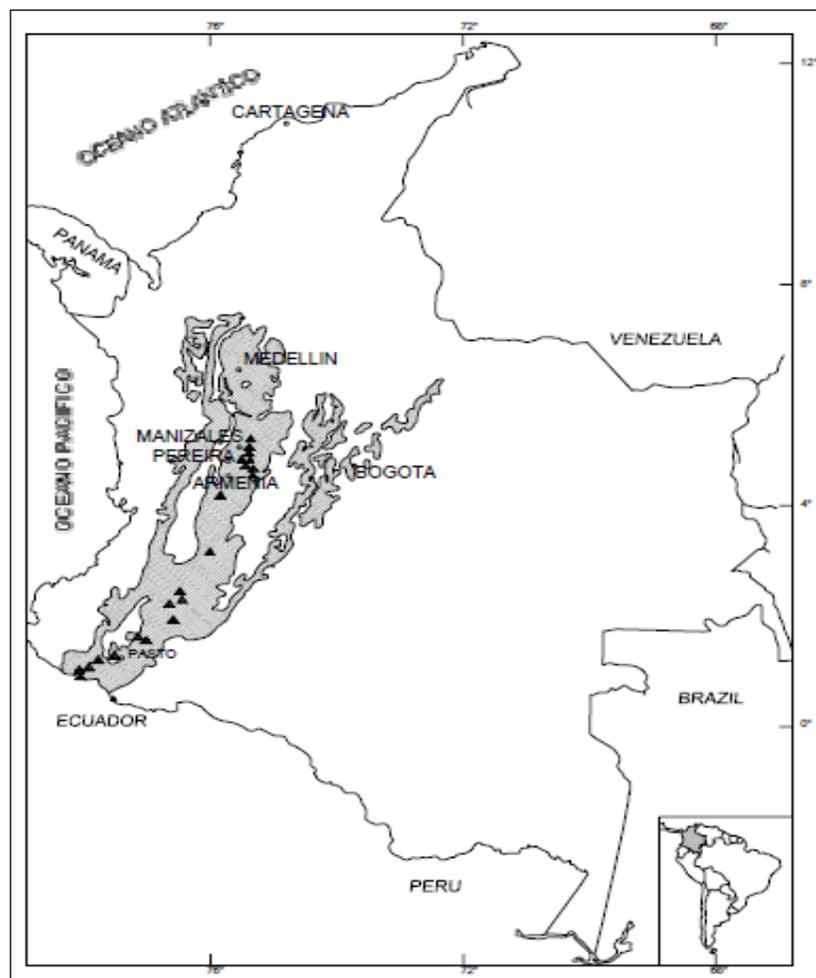


Figura 3. Distribución espacial de los volcanes (▲) y de los suelos derivados de cenizas volcánicas (área achurada) en Colombia (modificado de IGAC, 1995). Cerca del 12% del territorio nacional está cubierto por estos suelos.



6. 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 "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.

Coeficientes 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. 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.

6. 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.

Ley/decreto	Obligaciones en términos de incorporación de la Prevención y Reducción de Riesgos en la planificación territorial
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.
En cuanto al riesgo	
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
En cuanto al diseño de estabilidad de taludes	
Norma técnica sismo resistente NSR 2010	- Título A Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente - Título H Estudios Geotécnicos
En cuanto al Desarrollo y el Ordenamiento Territorial	
Ley 09 de 1989 de Reforma Urbana	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: ▪ La obligatoriedad a los municipios con la asistencia de las oficinas de Planeación de levantar y mantener actualizado el inventario de las zonas

	<p>que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos (inundación, deslizamiento).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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,
Ley 02 de 1991	<p>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.</p>
Ley 388 de 1997	<p>Ley de Desarrollo Territorial cuyos objetivos en cuanto al riesgo son: “Establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, la prevención de localización de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo” “Garantizar que la utilización del suelo por parte los propietarios 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” “Función Pública del Urbanismo: Mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales” “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”. “Localizar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención y atención de desastres...”</p>
Ley 810 de 2003	<p>Modifica el artículo 104 de la Ley 388 de 1997, referente a las sanciones urbanísticas, entre ellas por construcciones en zonas de alto riesgo.</p>
Ley 812 de 2003	<p>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.</p>
Decreto 879 1998	<p>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.</p>

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.
NORMA TÉCNICA COLOMBIANA PARA LABORATORIOS DE SUELOS	
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.
Marco Normativo a Nivel Local	
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)

Fuente: DOPAD, .2011



7. DISEÑO METODOLÓGICO

7. 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:

7. 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:

- φ = ángulo de fricción
- γ = pesos unitarios
- C = cohesión
- ω = contenido de humedad
- Clasificación granulométrica de muestras
- Límites de Atterberg
- Factor de seguridad
- Columna estratigráfica generalizada de cada sitio de estudio
- Variables climatológicas (precipitación, temperatura)



7. 2 DESCRIPCION DEL AREA GENERAL DE ESTUDIO.

7. 2. 1 Aspectos geológicos

Geología

Los materiales encontrados en el lugar de estudio cuya presentación es heterogénea, están constituidos por: Materiales del Terciario superior hasta cuaternario medio (TQgg).

Son materiales cuya presentación es heterogénea, están constituidos por: Depósitos de flujos piroclásticos y de escombros (bloques de roca envueltos en un material fino o matriz, con predominio de matriz), conglomerados (similar a los flujos pero predominan los bloques de rocas), arenas y limos fluviales con aporte volcánico, tobas de caída y localmente arcillolitas y limolitas lacustres.

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 removilizaba el material volcánico depositado durante el mismo periodo. Debido a su heterogeneidad se han propuesto diferentes clasificaciones.

"Estos materiales han sido denominados Flujos de lodo del Quindío (Mosquera, 1978) o Formación Armenia (Mc Court et al., 1984). Sin embargo, debido al carácter heterogéneo de la acumulación y a la ausencia de secciones estratigráficas bien diferenciadas y continuas, se prefiere utilizar una nomenclatura más amplia y por ello se ha denominado Glacis del Quindío".

En el año 1984, Caballero y Zapata lo clasificaron como flujos de lodo volcánico o "lahares", considerándolo con espesores mayores a 50m. Debido a que este material se encuentra en toda la parte sur, en sectores al occidente, oriente y norte del Municipio; la CARDER financió una tesis de grado con el fin de determinar la agrupación de estos materiales, es así como a través de dicha investigación se plantea la categorización de Formación Pereira, y se

determinan dos miembros: Miembro Superior, constituido por Cenizas Volcánicas (Pleistoceno- Holoceno) y Miembro inferior, compuesto por flujos piroclásticos y de escombros, conglomerados de barras, arenas y limos fluviales con aporte volcánico, tobas de caída y localmente arcillolitas y limolitas lacustres. En la figura 4 se identifican como TQgq.

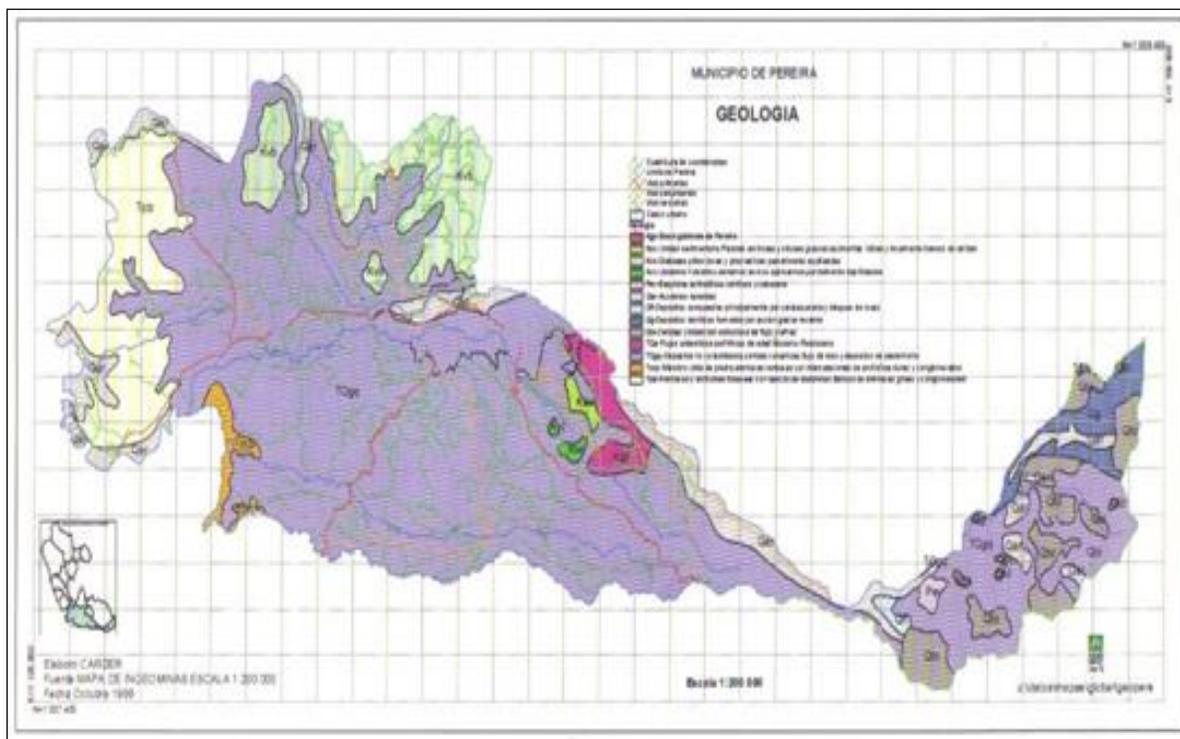


Figura 4. Mapa de unidades litológicas del municipio de Pereira.
(Tomado de CARDER, Proyecto para el diagnóstico de riesgos ambientales municipio de Pereira 2004)



Geomorfología

El conjunto morfoestructural del Municipio está conformado por la cadena montañosa de la Cordillera Central en la que sobresale los volcanes y nevados de El Ruiz, Santa Isabel, Quindío y el Páramo de Santa Rosa. En el territorio municipal se destacan tres tipos de relieve: los paisajes de montaña, piedemonte y el valle aluvial. En la vertiente de montaña de acuerdo con los pisos altitudinales forman el Nival: compuesto por picos y conos volcánicos; la vertiente periglacial de relieve escarpado, conformado por lavas y piroclastos; la vertiente de clima frío y muy frío, húmedo y muy húmedo, constituido por un relieve escarpado, con mantos delgados de cenizas volcánicas con erosión moderada; vertientes de clima medio y muy húmedo de relieve escarpado, mantos espesos de cenizas volcánicas con erosión moderada.

En los segundos (piedemonte) encontramos colinas de clima medio y húmedo, relieve fuertemente ondulado, mantos espesos de cenizas volcánicas, erosión moderada a severa. Y en el Valle, terrazas disectadas de clima cálido seco, relieve ondulado, cantos muy alterados. Escurrimiento difuso y concentrado, con formación de cárcavas. (Tomado de CARDER; Agenda Ambiental del Municipio de Pereira. Junio 2002)



7. 2. 2 Uso y cobertura actual del suelo

Usos del suelo

En cuanto a la cobertura y uso de la tierra, Pereira es el municipio más diversificado del Departamento, por su variedad de climas y pisos altitudinales, encontrándose como cultivos principales permanentes y semipermanentes el café con 11.060 hectáreas que representan el 18.2% y el mayor en el área del departamento, le siguen los cítricos con un área de 1.443,4 hectáreas equivalentes al 2.4%. En cultivos transitorios o anuales son significativos la cebolla junca con 458 hectáreas equivalentes al 0.75%, el sorgo y la soya con 406,88 hectáreas que representan el 0.67%. Las hortalizas como la lechuga, el cilantro, arveja, ahuyama, tomate, pepino representan el 0.4% con 245.77 hectáreas. Los cultivos de papa con un área de 11.08 hectáreas se encuentran localizados en un área de manejo especial (Parque Nacional Natural de los Nevados -PNNN). (En la Figura 5 se puede observar la distribución y cobertura del uso del suelo en Pereira).

En cuanto a los pastos, se identificaron grandes áreas de pastos manejados principalmente localizados en el Corregimiento Cerritos dedicados a la ganadería intensiva, con 17.674,59 hectáreas, equivalentes al 29.14%. En cuanto a los bosques se destacan los bosques naturales que aún subsisten en el municipio, con un área de 4.034,73 hectáreas, equivalentes al 6.64%, localizados hacia la zona del PNNN, protegiendo las fuentes hídricas que nacen allí como es el Río Otún. Así mismo se identificaron plantaciones forestales en la cuenca del Río Otún con un área de 1332,61 hectáreas, equivalentes al 2.19%. Los bosques secundarios localizados principalmente en las áreas de manejo especial del municipio ocupan una extensión de 2.830 hectáreas equivalentes al 4.66%. La vegetación de páramo localizada en el área de influencia del PNNN, ocupa un área de 3.177,7 hectáreas,

Equivalentes al 5.23%. (Tomado de CARDER, Proyecto para el diagnostico de riesgos ambientales municipio de Pereira 2004)

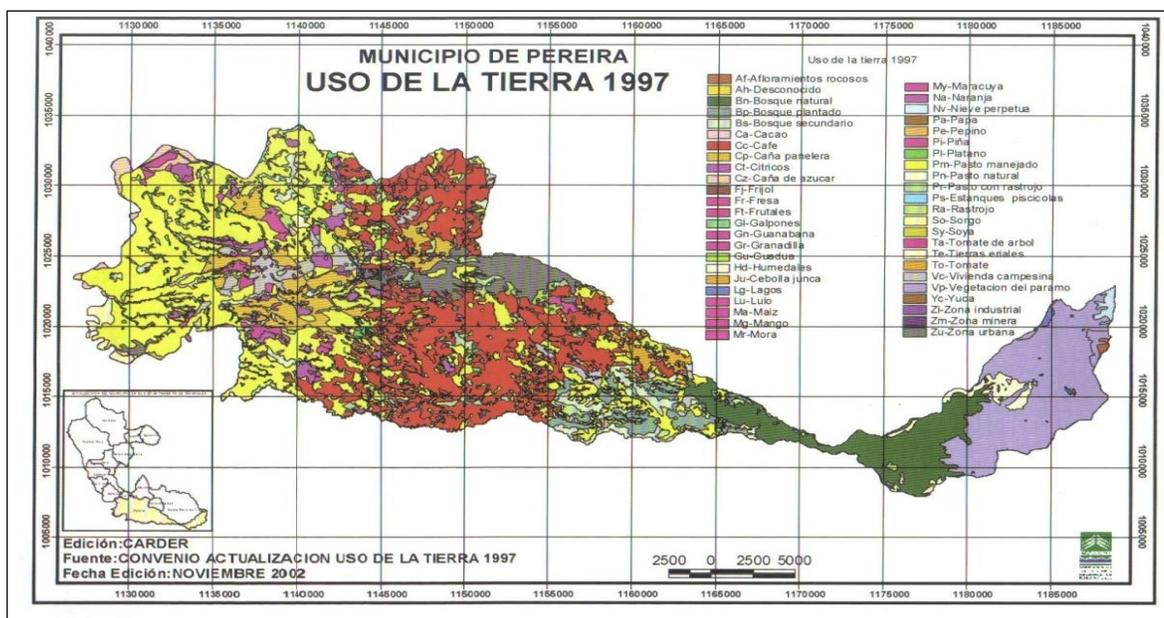


Figura 5. Mapa del municipio de Pereira usos y cobertura del suelo

7. 2. 3 Forma de la pendiente.

La forma de la pendiente en el talud de estudio, se caracteriza por su forma homogénea y poca cobertura vegetal, lo que facilita para la toma de muestras alteradas en la cara libre del talud.



Figura 6. Talud De Estudio Forma De La Pendiente



7. 2. 4 Columna estratigráfica generalizada del área de estudio.

Estratigrafía

Los patrones dispersos en la depositación de las cenizas volcánicas, mecanismos y grado de meteorización son los responsables de la alta variabilidad espacial de los suelos actualmente encontrados tanto en profundidad como en superficie. Esta alta variabilidad se reconoce en mineralogía, granulometría, densidad, consistencia, entre otras propiedades. La distancia de depositación lleva a texturas arenosas cerca de los volcanes y limo-arcillosas en zonas alejadas. En Colombia, la influencia de la distancia de depositación se observa en los suelos arenosos de Pereira, ciudad cercana a los volcanes y en los suelos arcillosos de Armenia, ciudad más lejana de los volcanes activos. Adicionalmente, los depósitos más abundantes y de mayor espesor se presentan en regiones de clima frío y muy frío, mientras que espesores menores son formados en ambientes cálidos y húmedos en donde la meteorización es más intensa (Arango, 1993). Los relieves ligeramente ondulados o planos contribuyen a la formación de depósitos de gran espesor, mientras que zonas de alta pendiente, más erodables, llevan a bajos espesores.

El perfil estratigráfico generalizado de estos suelos en Colombia consiste de una capa superficial formada a partir de la meteorización de las cenizas volcánicas, cuyo espesor puede alcanzar hasta 20 m. Subyaciendo esta capa se encuentra una capa de saprolito (espesor ~ 20 m) formada por la meteorización de materiales piroclásticos y flujos volcánicos. A mayor profundidad, se encuentra un depósito de 100 m de espesor, formado de los materiales emanados durante las erupciones volcánicas al final del terciario. Este depósito yace sobre roca intacta, anfibola y esquisto del período Cretáceo (Forero et al., 1999). Un perfil estratigráfico típico en la región del Eje Cafetero se presenta en la Figura 7.

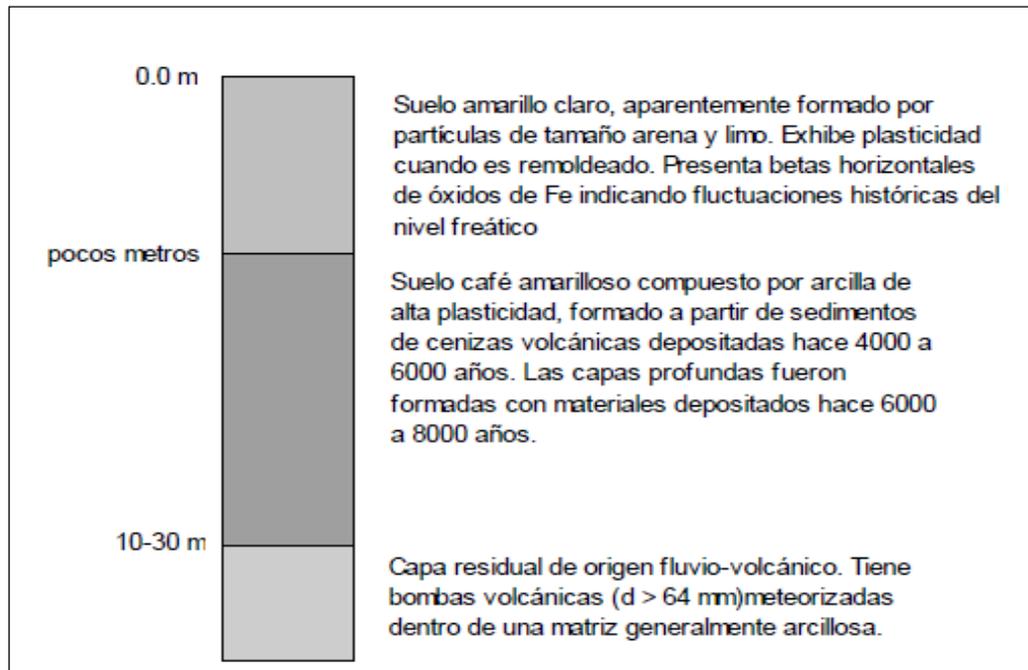


Figura 7. Perfil estratigráfico típico de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Regla general: los suelos más profundos y más antiguos son suelos más finos y arcillosos.

7. 2. 5 Identificación del comportamiento sísmico de la zona.

Microzonificación sísmica

La Microzonificación 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 construcción de edificaciones sísmo resistentes. Para cada una de las zonas, además de especificarse la fuerza sísmica posible, deben identificarse los tipos de 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.

De esta manera, en todas las zonas donde se presenten cenizas superficiales en la estratigrafía, la respuesta dinámica queda definida por estos depósitos, independientemente de los depósitos más profundos. (Tomado de CARDER, Proyecto para el diagnóstico de riesgos ambientales municipio de Pereira 2004)

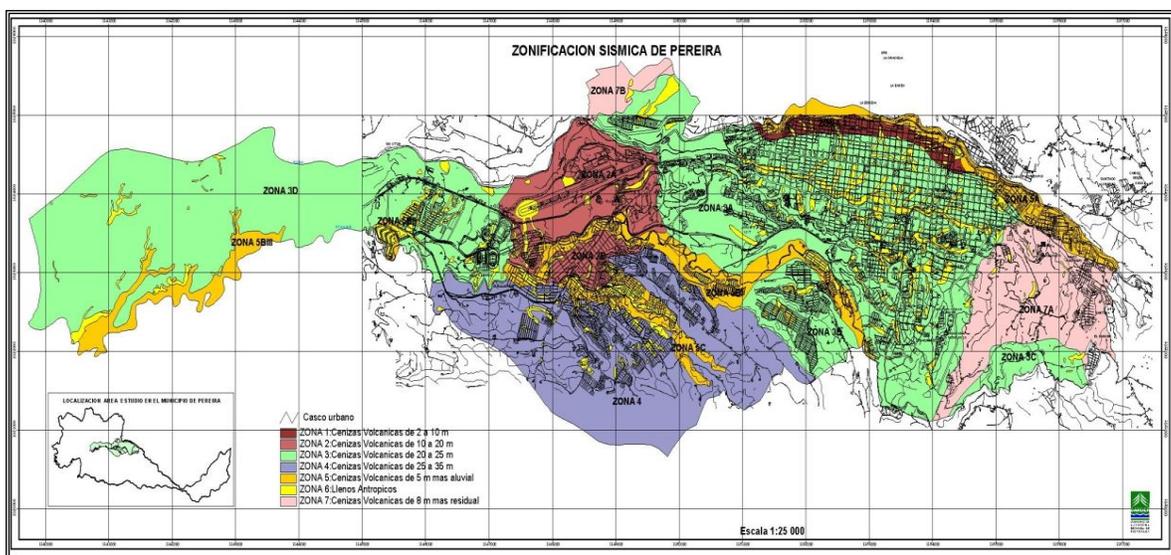


Figura 8. Mapa de microzonificación sísmica municipio de Pereira.



7. 2. 6 Descripción hidro-climatológica del área de estudio.

Climatología

El comportamiento climático de Pereira está determinado por la circulación de la atmósfera en el trópico que define dos periodos lluviosos al año con máximos en abril y octubre y por las características del relieve.

El Municipio de Pereira se localiza aproximadamente en la posición media de la zona de convergencia intertropical, hecho que determina las características más relevantes del clima regional tales como lluvias abundantes con régimen temporal de distribución bimodal (dos máximos al año), alto contenido de humedad del aire y régimen de temperaturas con bajas oscilaciones durante el año.

Precipitación

Es importante conocer este elemento climatológico ya que en algunos sectores del municipio de Pereira los movimientos en masa son disparados por las lluvias. El comportamiento climático en Pereira, está determinado por la circulación de la atmósfera en el trópico, que define dos períodos lluviosos al año con máximos en abril- mayo y septiembre- noviembre y por las características del relieve.

Se puede ver que la precipitación en este municipio, varía entre 1.600 y 2.800 mm/año, presentando las mayores pluviosidades en la franja central del municipio con valores entre 2.300 y 2.800 mm/año. La precipitación tiende a disminuir hacia el occidente en proximidades del Río Cauca, llegando a los 1.800 mm/año; y en la parte oriental hacia el Parque Nacional Natural de los Nevados con precipitaciones cercanas a los 2.000 mm/año. La precipitación promedia anual del municipio es de 2.108,16 mm.



Temperatura

Pereira presenta una temperatura promedio de 21°C; este factor depende de la altitud, latitud y presencia de vientos, dando origen a pisos térmicos a lo largo del municipio. Especialmente la temperatura media anual varía de los 24°C a una altura de 940 m.s.n.m. a los 8°C a una elevación sobre el nivel del mar superior a los 3.600 metros. Esto significa que en el municipio se presentan cuatro (4) pisos térmicos a saber:

- Cálido con temperatura media mayor de 22°C
- Medio con temperatura media entre 17 y 22°C.
- Frío con temperatura media entre 12 y 17°C.
- Páramo con temperatura media inferior a 12°C.

Humedad relativa

El comportamiento temporal de este elemento del clima en la zona de estudio es análogo al de las precipitaciones, es decir está determinado por los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical. Al igual que para las lluvias se tiene una distribución de tipo bimodal con máximos en abril- mayo y octubre- noviembre, con valores promedio 79%, y mínimos en enero con 71% y febrero con 72%, Considerando los datos de la estación climatológica de la carder.

7. 3. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

Talud parque metropolitano del café.

El talud de estudio se encuentra ubicado K0+620 sobre la calle 50, en la parte de afuera del parque metropolitano del café contiguo al batallón san mateo, entre el sector de maraya y la avenida las Américas.



Figura 9. Fotografía aérea del lugar de la investigación.



Figura 10. Fotografía tomada en el lugar de la investigación.



7. 3. 1 Características fisiográficas y de ocupación del entorno.

El objeto de estudio se encuentra: colindante con el parque metropolitano del café consigo al área de las piscinas y el batallón san mateo, en la parte superior del talud se encuentra una canal de desagüe y en su parte inferior la vía de la calle 50 que comunica el sector de maraya con la avenida las Américas.

En el talud, se realizaron la toma de muestras cada semana iniciando el día 7 de marzo del 2011 y finalizando el día 24 de julio del 2011, la recolección de las muestras inalteradas tuvo una duración de 6 meses, en el cual se lograron obtener una totalidad de 20 muestras alteradas (obtenidas de la cara libre del talud) y cinco muestras inalteradas (obtenidas en las perforaciones). Las cuales se obtuvieron de la siguiente forma: todos los miercoles al iniciar la semana y con un horario para la toma de muestras; en la mañana entre las 5:30 am a las 6:30 am y en la tarde de las 5:30 pm a 6:30 pm; teniendo un intervalo de 12 horas en la toma de muestras.

Para la distribución de las muestras se tomaron distancias de cinco metros entre cada uno de los puntos de muestreo, con una altura constante de un metro con cincuenta en cada punto, las muestra alteradas se obtuvieron cada una con una profundidad de ochenta centímetros, para lo cual se utilizo un barreno manual, papel aluminio y bolsas herméticas, ya tomadas las muestras debidamente empacadas y embaladas se procedía a realizarles los ensayos normativos de: contenido de húmeda, limites de Atterberg y granulometría por tamizado.

Asimismo, se realizaron cinco perforaciones para obtener los datos de las muestras inalteradas del terreno, durante los seis meses; cada punto de muestreo se tomo dejando veinte metros de distancia entre ellos, con una profundidad de toma de muestra de (1.5 m, 3.0 m y 4.50 m), ya debidamente empacadas las muestras se procedía a realizar los ensayos normativos de

contenido de húmeda, límites de Atterberg, granulometría por lavado y tamizado, el método que se utilizó para la identificación del suelo es el SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (S.U.C.S), compresión simple y corte directo, ver anexo B. Ficha de caracterización.

Evolución del entorno.

En esta fotografía se puede observar la antigua vía de acceso al parque metropolitano del café, la cual se desprendía de la avenida las Américas pasando a través del parque metropolitano del café y culminando en el barrio jardín segunda etapa.



Figura 11. Fotografía aérea de la antigua vía de acceso al parque metropolitano del café.

En esta otra imagen se puede observar desde otro punto el proyecto de construcción de la calle 50, la cual conecta el sector de maraya con la avenida las Américas, teniendo como eje, básicamente la antigua vía de acceso al parque metropolitano del café, colindando el batallón san mateo y el barrio el rosal.



Figura 12. Fotografía aérea del proyecto de la calle 50.

Talud parque metropolitano del café de Pereira vista en planta.

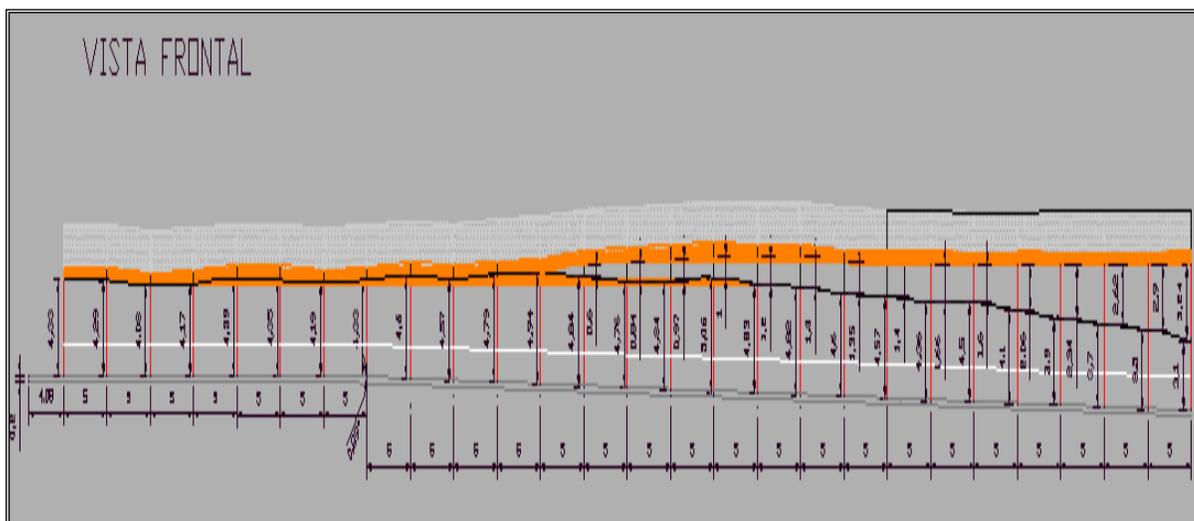


Figura 13. Vista en planta talud parque metropolitano del café de Pereira

Perfil parque metropolitano del café.

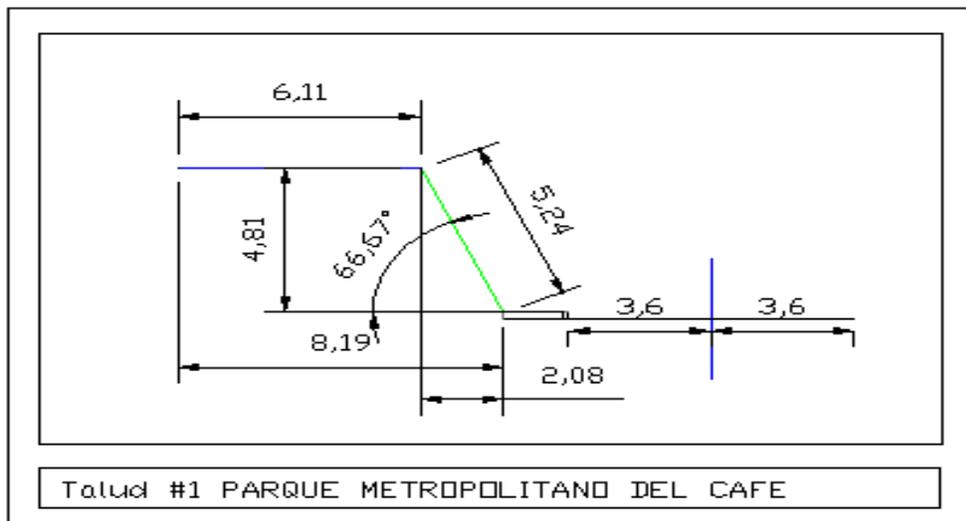


Figura 14. Perfil general parque metropolitano del café de Pereira

Perfil parque metropolitano del café.

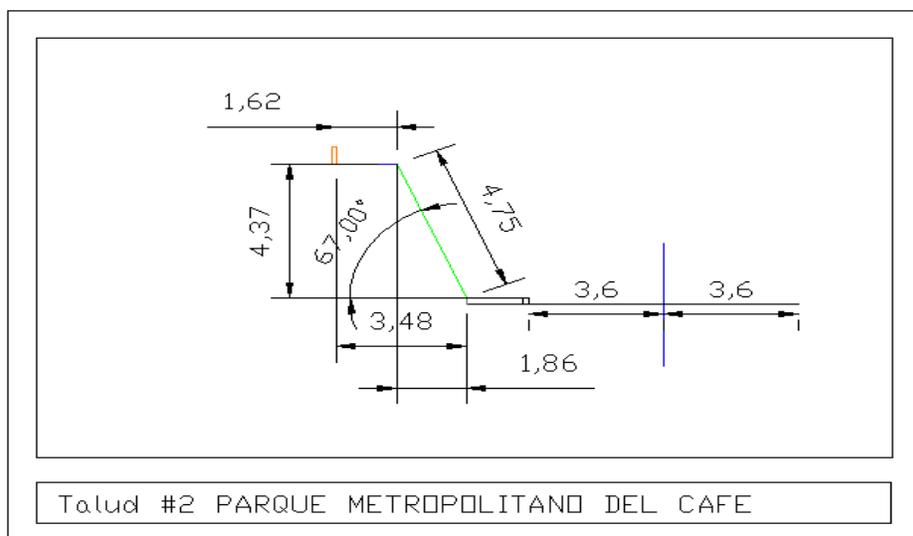


Figura 15. Perfil general parque metropolitano del café de Pereira

7. 3. 2 Proceso para la toma de muestras alteradas

Utilizando un barreno se perforaban aproximadamente 80 Cm, después de esta medida se procedía a recolectar la muestra semanal de la mañana y la tarde.



Figura 16. Proceso Mediante el cual se extrae la muestra inalterada

La muestra recolectada se empaca en bolsas con cierre hermético y una porción de muestra que se destina para el contenido de humedad se envuelve en papel aluminio para evitar la pérdida de humedad durante el transporte del lugar de muestreo al laboratorio.



Figura 17. Fotografía del proceso y embalaje de la muestra

Luego son llevadas las muestra 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 realizar los ensayos de límites de Atterberg y granulometría.



Figura 18. Secado de la muestra a temperatura ambiente.

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

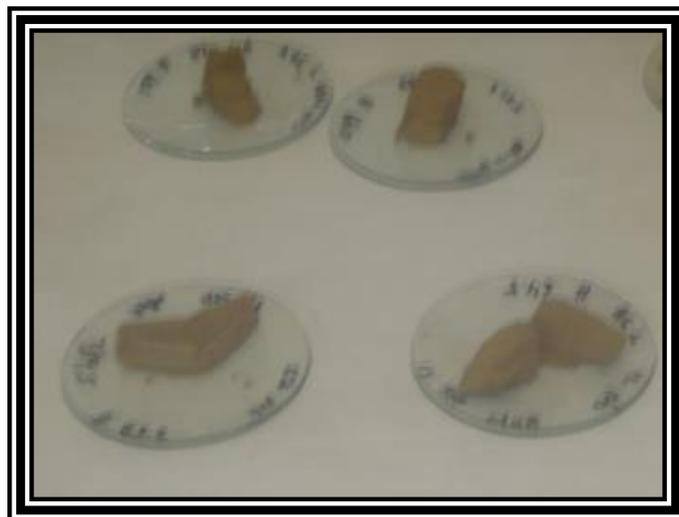


Figura 19. Muestras después de ser sacadas del horno

En esta imagen se puede observar la muestra alterada después de ser secada con una temperatura ambiente.



Figura 20. Muestra secada y lista para ser sometida a los ensayos.

En esta imagen se observa la muestra moldeada en la copa de casa grande, para determinar su límite líquido obteniendo a partir de una serie de muestras tomadas con porcentajes de humedad diferentes en establecidos números de golpes.

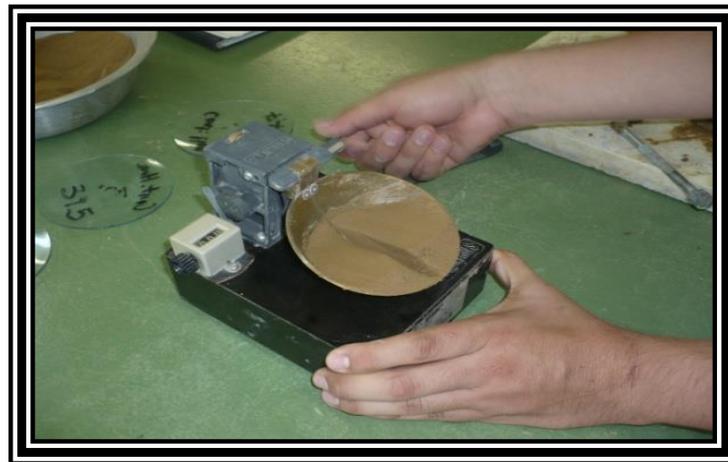


Figura 21. Muestra sometida al ensayo de casa grande.

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

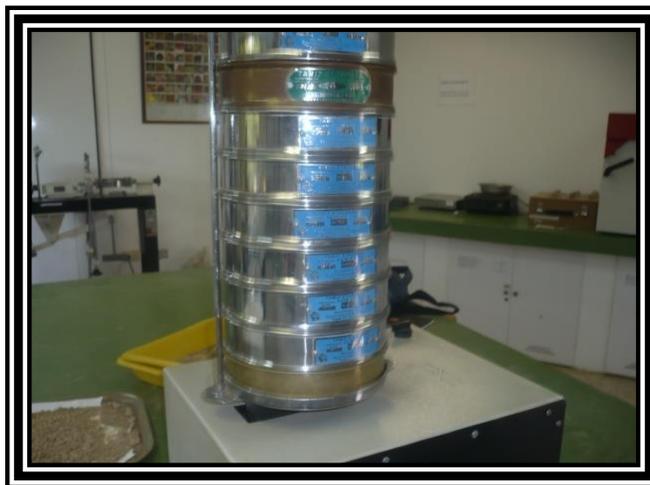


Figura 22. Muestra sometida al ensayo de tamizado.

7. 3. 3 Procedimiento para la toma de muestras inalteradas

Para la obtención de las muestras inalteradas se utilizaron tubos shelby. Las cuales se toman en la berma del talud, a profundidades de 1.50, 3.00 y 4.50, metros.



Figura 23. Obtención de las muestras inalteradas.

Las muestras se extraen del tubo shelby posteriormente son cubiertas con papel aluminio y se guardan en bolsas herméticas para evitar la pérdida de humedad.



Figura 24. Embalaje de la muestra inalterada para ser llevada al laboratorio

Luego se llevan 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 es el SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (S.U.C.S).

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



Figura 25. Máquina para realizar ensayo de compresión simple.

En esta imagen se observa el método de lavado en tamiz # 200, el cual servirá para determinar la granulometría por determinado método.



Figura 26. Proceso de lavado de la muestra en el tamiz # 200.



8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

8. 1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL TALUD UBICADO EN EL PARQUE METROPOLITANO DEL CAFÉ DE LA CIUDAD DE PEREIRA.

Estos parámetros se presentan mes a mes, con datos de la mañana y de la tarde. Contiene los siguientes parámetros: lluvia diaria (mm), temperatura (C°), contenido de humedad (%), limite liquido (%), limite plástico (%), índice de plasticidad (%), clasificación del suelo (S.U.C.S.) y la identificación de la muestra (ID).

Cabe recordar que las muestras se tomaban con un intervalo de 12 horas entre la mañana y la tarde, a las 6 am y las 6 pm.

8. 1. 1 Muestras alteradas

Con las muestras obtenidas se realizar los diferentes ensayos por medio de los cuales se obtuvieron valores muy significativos para nuestra investigación. Las muestras alteradas tomadas en el talud del parque metropolitano del café, con las cuales se lograron determinar los siguientes parámetros geomecánicos que son presentados mes a mes en las siguientes tablas, los procedimientos de laboratorio efectuados, incluyendo, los parámetros geotécnicos obtenidos, los cálculos que han de realizarse y las limitaciones de algunas pruebas. También se indica la forma de obtención indirecta de algunas propiedades, con la ayuda de ciertos parámetros determinados.

MES DE AGOSTO MAÑANA

Tabla 6. Resultados de laboratorio mes de agosto jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA							ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	COMPRESION SIMPLE (Kg/cm2)	
AGOSTO-2010	1	1,00	17,80							
	2	0,40	18,10	74,00	105,50	60,38	45,12	MH		muestra 1
	3	3,20	17,70							
	4	2,20	17,00							
	5	2,60	17,60							
	6	0,00	18,90							
	7	2,60	17,60							
	8	0,40	17,20							
	9	0,40	17,90	164,00	69,39	56,30	13,09	MH		muestra 2
	10	1,20	17,80							
	11	1,00	17,80							
	12	6,00	17,40							
	13	0,20	17,10							
	14	0,00	17,80							
	15	0,40	17,90							
	16	0,40	15,40	71,00	71,91	61,00	10,91	MH		muestra 3
	17	0,00	16,60							
	18	31,40	16,20							
	19	7,00	17,10							
	20	25,00	15,70							
	21	1,00	16,80							
	22	0,00	16,20							
	23	0,50	17,20	71,00	89,77	79,00	10,77	MH		muestra 4
	24	0,76	17,90							
	25	3,29	18,10							
	26	34,54	17,10							
	27	1,51	16,40							
	28	2,53	16,70							
	29	2,53	16,70							
	30	0,25	15,70	67,00	76,18	58,00	18,18	MH		muestra 5
	31	29,70	17,10							

Fuente: Grupo de co-investigadores.

Tabla 7. Resumen estadístico mes de agosto jornada de la mañana

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAICOS (AGOSTO MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo (%)	164,00	9
Contenido de humedad mínimo (%)	67,00	30
Limite plástico máximo (%)	79,00	23
Limite plástico mínimo (%)	56,30	9
Limite liquido máximo (%)	105,50	2
Limite liquido mínimo (%)	69,39	9
Indicé de plasticidad máximo (%)	45,12	2
Indicé de plasticidad mínimo (%)	10,77	23

Fuente: Grupo de co-investigadores.

MES DE AGOSTO TARDE

Tabla 8. Resultados de laboratorio mes de agosto jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE						ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	
AGOSTO-2010	1	1,00	25,90						
	2	0,40	26,50	64,00	68,14	57,70	10,44	MH	muestra 1
	3	3,20	22,30						
	4	2,20	26,10						
	5	2,60	27,10						
	6	0,00	25,60						
	7	2,60	24,10						
	8	0,40	25,40						
	9	0,40	27,40	82,00	68,82	57,00	11,82	MH	muestra 2
	10	1,20	26,20						
	11	1,00	25,60						
	12	6,00	23,40						
	13	0,20	25,50						
	14	0,00	25,00						
	15	0,40	24,20						
	16	0,40	23,30	61,00	77,16	68,00	9,16	MH	muestra 3
	17	0,00	25,10						
	18	31,40	23,60						
	19	7,00	23,10						
	20	25,00	25,50						
	21	1,00	25,40						
	22	0,00	26,00						
	23	0,50	25,30	75,00	76,68	58,00	18,68	MH	muestra 4
	24	0,76	25,30						
	25	3,29	25,10						
	26	34,54	23,30						
	27	1,51	24,80						
	28	2,53	23,10						
	29	2,53	23,10						
	30	0,25	26,20	71,00	81,47	59,00	22,47	MH	muestra 5
	31	29,70	21,10						

Fuente: Grupo de co-investigadores.

Tabla 9. Resumen estadístico mes de agosto jornada de la tarde.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (AGOSTO TARDE)		Día
Contenido de humedad máximo (%)	82,00	9
Contenido de humedad mínimo (%)	61,00	16
Limite plástico máximo (%)	68,00	16
Limite plástico mínimo (%)	57,00	9
Limite liquido máximo (%)	81,47	30
Limite liquido mínimo (%)	68,14	2
Indicé de plasticidad máximo (%)	22,47	30
Indicé de plasticidad mínimo (%)	9,16	16

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE SEPTIEMBRE MAÑANA

Tabla 10. Resultados de laboratorio mes de septiembre jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA						CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)			
SEPTIEMBRE-2010	1	34,04	16,70							
	2	3,03	16,80							
	3	0,76	17,90							
	4	1,00	18,00							
	5	3,05	16,80							
	6	2,27	17,80	51,00	60,26	47,00	13,26	MH	muestra 6	
	7	1,26	17,30							
	8	24,63	16,60							
	9	0,00	15,60							
	10	0,00	16,80							
	11	0,00	16,80							
	12	0,00	17,90							
	13	17,01	17,50	66,00	64,01	62,00	2,01	MH	muestra 7	
	14	0,00	17,30							
	15	3,30	17,90							
	16	2,53	18,30							
	17	0,25	17,60							
	18	0,00	17,30							
	19	1,01	17,80							
	20	14,20	16,30	80,00	66,37	49,50	16,87	MH	muestra 8	
	21	0,00	16,00							
	22	1,00	17,90							
	23	24,63	17,10							
	24	0,75	15,90							
	25	4,06	17,10							
	26	20,83	16,80							
	27	7,11	16,50	63,00	50,95	47,00	3,95	MH	muestra 9	
	28	0,50	16,80							
	29	11,17	17,20							
	30	5,08	17,10							

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 11. Resumen estadístico mes de septiembre jornada de la mañana

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (SEPTIEMBRE MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo (%)	80,00	20
Contenido de humedad mínimo (%)	51,00	6
Limite plástico máximo (%)	62,00	13
Limite plástico mínimo (%)	47,00	6
Limite líquido máximo (%)	66,37	20
Limite líquido mínimo (%)	50,95	27
Indicé de plasticidad máximo (%)	16,87	20
Indicé de plasticidad mínimo (%)	2,01	13

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE SEPTIEMBRE TARDE

Tabla 12. Resultados de laboratorio mes de septiembre jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE					CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)		
SEPTIEMBRE-2010	1	34,04	24,80						
	2	3,03	25,20						
	3	0,76	25,00						
	4	1,00	23,40						
	5	3,05	27,30						
	6	2,27	24,20	50,00	61,79	45,00	16,79	MH	muestra 6
	7	1,26	23,10						
	8	24,63	24,20						
	9	0,00	23,90						
	10	0,00	26,60						
	11	0,00	25,90						
	12	0,00	24,60						
	13	17,01	25,30	95,00	75,37	70,30	5,07	MH	muestra 7
	14	0,00	27,70						
	15	3,30	27,80						
	16	2,53	23,80						
	17	0,25	22,50						
	18	0,00	26,20						
	19	1,01	24,30						
	20	14,20	22,10	85,00	69,06	48,28	20,78	MH	muestra 8
	21	0,00	24,00						
	22	1,00	23,70						
	23	24,63	22,70						
	24	0,75	23,30						
	25	4,06	22,40						
	26	20,83	23,80						
	27	7,11	22,10	57,00	63,22	60,95	11,03	MH	muestra 9
	28	0,50	26,40						
	29	11,17	25,90						
	30	5,08	27,30						

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 13. Resumen estadístico mes de septiembre jornada de la tarde

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (SEPTIEMBRE TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	95,00	13
Contenido de humedad mínimo (%)	50,00	6
Limite plástico máximo (%)	70,30	13
Limite plástico mínimo (%)	45,00	6
Limite liquido máximo (%)	75,37	13
Limite liquido mínimo (%)	61,79	6
Indicé de plasticidad máximo (%)	20,78	20
Indicé de plasticidad mínimo (%)	5,07	13

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE OCTUBRE MAÑANA

Tabla 14. Resultados de laboratorio mes de octubre jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA						ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	
OCTUBRE-2010	1	5,30	15,80						
	2	0,00	16,70						
	3	11,70	17,20						
	4	4,30	16,70	58,00	53,14	51,80	1,34	MH	muestra 10
	5	14,20	17,00						
	6	19,00	17,50						
	7	0,00	17,40						
	8	13,70	17,40						
	9	0,50	17,00						
	10	10,40	17,10						
	11	0,00	18,10	96,00	62,11	47,00	15,11	MH	muestra 11
	12	0,00	16,90						
	13	0,00	17,00						
	14	0,00	18,20						
	15	0,00	---						
	16	0,00	18,60						
	17	0,30	18,20						
	18	11,40	16,70	80,00	72,53	60,30	12,23	MH	muestra 12
	19	36,60	16,20						
	20	0,00	15,60						
	21	13,00	16,20						
	22	2,00	16,20						
	23	12,70	16,90						
	24	14,50	16,70						
	25	9,10	17,30	92,00	85,55	63,33	22,22	MH	muestra 13
	26	9,70	16,90						
	27	7,90	17,50						
	28	4,30	16,70						
	29	20,60	17,10						
	30	2,30	16,80						
	31								

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 15. Resumen estadístico mes de octubre jornada de la mañana.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECHANICOS (OCTUBRE MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo (%)	96,00	11
Contenido de humedad mínimo (%)	58,00	4
Limite plástico máximo (%)	63,33	25
Limite plástico mínimo (%)	47,00	11
Limite liquido máximo (%)	85,55	25
Limite liquido mínimo (%)	53,14	4
Indicé de plasticidad máximo (%)	22,22	25
Indicé de plasticidad mínimo (%)	1,34	4

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE OCTUBRE TARDE

Tabla 16. Resultados de laboratorio mes de octubre jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE						ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	
OCTUBRE-2010	1	5,30	25,50						
	2	0,00	25,70						
	3	11,70	25,20						
	4	4,30	21,60	59,00	69,66	59,80	9,86	MH	muestra 10
	5	14,20	26,10						
	6	19,00	20,30						
	7	0,00	25,80						
	8	13,70	25,90						
	9	0,50	27,10						
	10	10,40	26,70						
	11	0,00	28,60	95,00	64,11	50,00	14,11	MH	muestra 11
	12	0,00	27,00						
	13	0,00	26,40						
	14	0,00	25,70						
	15	0,00	---						
	16	0,00	24,90						
	17	0,30	23,80						
	18	11,40	23,50	75,00	75,86	59,86	16,00	MH	muestra 12
	19	36,60	25,30						
	20	0,00	22,70						
	21	13,00	24,60						
	22	2,00	23,60						
	23	12,70	21,90						
	24	14,50	23,20						
	25	9,10	24,20	97,00	88,35	61,64	11,03	MH	muestra 13
	26	9,70	23,70						
	27	7,90	25,10						
	28	4,30	26,00						
	29	20,60	23,20						
	30	2,30	22,10						
	31								

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 17. Resumen estadístico mes de octubre jornada de la tarde.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (OCTUBRE TARDE)	Valor	día
Contenido de humedad máximo (%)	97,00	25
Contenido de humedad mínimo (%)	59,00	4
Limite plástico máximo (%)	61,64	25
Limite plástico mínimo (%)	50,00	11
Limite liquido máximo (%)	88,35	25
Limite liquido mínimo (%)	64,11	11
Indicé de plasticidad máximo (%)	16,00	18
Indicé de plasticidad mínimo (%)	9,86	4

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE NOVIEMBRE MAÑANA

Tabla 18. Resultados de laboratorio mes de noviembre jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA					CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)		
NOVIEMBRE-2010	1	4,60	16,80	91,00	78,29	59,95	18,34	MH	muestra 14
	2	3,00	17,20						
	3	2,40	16,90						
	4	0,00	16,40						
	5	0,40	17,50						
	6	39,60	17,20						
	7	5,80	17,80						
	8	25,60	16,90	146,00	97,70	76,70	21,00	MH	muestra 15
	9	4,00	16,40						
	10	11,80	16,50						
	11	25,60	17,20						
	12	38,40	16,90						
	13	9,80	16,60						
	14	9,40	16,30						
	15	21,60	16,60	116,00	91,85	74,17	17,68	MH	muestra 16
	16	24,20	16,50						
	17	21,80	16,50						
	18	8,00	16,10						
	19	33,20	16,70						
	20	2,20	14,80						
	21	2,20	16,20						
	22	11,00	16,00	143,00	59,03	51,62	7,41	MH	muestra 17
	23	3,00	16,20						
	24	1,20	17,20						
	25	5,20	15,80						
	26	4,00	16,70						
	27	2,80	18,10						
	28	29,20	17,20						
	29	0,00	17,10	131,00	104,99	79,05	25,94	MH	muestra 18
	30	13,60	17,40						

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 19. Resumen estadístico mes de noviembre jornada de la mañana

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (NOVIEMBRE MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo (%)	146,00	8
Contenido de humedad mínimo (%)	116,00	15
Limite plástico máximo (%)	79,05	29
Limite plástico mínimo (%)	51,62	22
Limite liquido máximo (%)	104,99	29
Limite liquido mínimo (%)	59,03	22
Indicé de plasticidad máximo (%)	25,94	29
Indicé de plasticidad mínimo (%)	7,41	22

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE NOVIEMBRE TARDE

Tabla 20. Resultados De laboratorio mes de noviembre jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE						ID
			TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	
NOVIEMBRE-2010	1	4,60	22,80	91,00	82,09	56,79	25,30	MH	muestra 14
	2	3,00	25,00						
	3	2,40	22,70						
	4	0,00	26,60						
	5	0,40	26,90						
	6	39,60	21,80						
	7	5,80	24,60						
	8	25,60	21,10	150,00	132,94	98,96	33,98	MH	muestra 15
	9	4,00	24,40						
	10	11,80	23,10						
	11	25,60	22,90						
	12	38,40	21,70						
	13	9,80	23,60						
	14	9,40	23,40						
	15	21,60	22,70	139,00	109,02	81,52	27,50	MH	muestra 16
	16	24,20	23,60						
	17	21,80	21,40						
	18	8,00	23,10						
	19	33,20	22,60						
	20	2,20	21,90						
	21	2,20	23,40						
	22	11,00	23,60	145,00	77,61	70,02	7,59	MH	muestra 17
	23	3,00	23,50						
	24	1,20	23,00						
	25	5,20	24,20						
	26	4,00	24,90						
	27	2,80	24,40						
	28	29,20	23,10						
	29	0,00	24,40	115,00	95,88	77,02	18,86	MH	muestra 18
	30	13,60	24,30						

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 21. Resumen estadístico mes de noviembre jornada de la tarde

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (NOVIEMBRE TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	150,00	8
Contenido de humedad mínimo (%)	91,00	1
Limite plástico máximo (%)	98,96	8
Limite plástico mínimo (%)	56,79	1
Limite liquido máximo (%)	132,94	8
Limite liquido mínimo (%)	77,61	22
Indicé de plasticidad máximo (%)	33,98	8
Indicé de plasticidad mínimo (%)	7,59	22

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE DICIEMBRE MAÑANA

Tabla 22. Resultados de laboratorio mes de diciembre jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA					CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)		
DICIEMBRE-2010	1	23,40	17,00						
	2	44,20	17,10						
	3	17,50	16,70						
	4	12,40	16,60						
	5	0,00	15,20						
	6	2,00	17,40	116,00	83,02	68,79	14,23	MH	muestra 19
	7	9,10	17,60						
	8	0,50	17,00						
	9	15,50	17,70						
	10	6,30	16,90						
	11	0,00	17,40						
	12	2,80	18,50						
	13	22,40	16,80	161,00	53,66				muestra 20
	14	0,50	15,90						
	15	30,50	15,70						
	16	0,50	16,00						
	17	3,80	17,50						
	18	17,80	16,80						
	19	13,00	16,60						
	20	13,20	16,30	269,00	52,73	49,39	3,34	MH	muestra 21
	21	0,30	16,80						
	22	0,00	17,30						
	23	3,00	17,20						
	24	0,30	17,50						
	25	0,50	17,30						
	26	2,50	17,30						
	27	4,30	17,30	163,00	76,44	76,12	0,32	MH	muestra 22
	28	10,70	17,30						
	29	0,30	17,70						
	30	0,00	18,40						
	31	16,50	17,20						

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 23. Resumen estadístico mes de enero jornada de la mañana

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECHANICOS (DICIEMBRE MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo (%)	269,00	20
Contenido de humedad mínimo (%)	116,00	6
Limite plástico máximo (%)	76,12	27
Limite plástico mínimo (%)	49,39	20
Limite liquido máximo (%)	83,02	6
Limite liquido mínimo (%)	52,73	20
Indicé de plasticidad máximo (%)	14,23	6
Indicé de plasticidad mínimo (%)	0,32	27

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE DICIEMBRE TARDE

Tabla 24. Resultados de laboratorio mes de diciembre jornada de la tarde

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE						
			TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID
DICIEMBRE-2010	1	23,40	24,00						
	2	44,20	22,60						
	3	17,50	22,10						
	4	12,40	18,90						
	5	0,00	24,10						
	6	2,00	25,80	126,00	68,42	60,02	8,40	MH	muestra 19
	7	9,10	22,30						
	8	0,50	23,90						
	9	15,50	24,90						
	10	6,30	23,70						
	11	0,00	24,60						
	12	2,80	25,00						
	13	22,40	22,30	162,00	58,47				muestra 20
	14	0,50	25,40						
	15	30,50	24,30						
	16	0,50	22,90						
	17	3,80	24,20						
	18	17,80	23,60						
	19	13,00	23,70						
	20	13,20	22,10	112,00	68,09	64,62	3,47	MH	muestra 21
	21	0,30	24,30						
	22	0,00	24,50						
	23	3,00	22,10						
	24	0,30	23,80						
	25	0,50	25,20						
	26	2,50	21,30						
	27	4,30	25,70	160,00	82,39	60,99	21,40	MH	muestra 22
	28	10,70	25,00						
	29	0,30	25,60						
	30	0,00	26,30						
	31	16,50	26,40						

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 25. Resumen estadístico mes de diciembre jornada de la tarde

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (DICIEMBRE TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	162,00	13
Contenido de humedad mínimo (%)	112,00	20
Limite plástico máximo (%)	64,62	20
Limite plástico mínimo (%)	60,02	6
Limite liquido máximo (%)	82,39	27
Limite liquido mínimo (%)	58,47	13
Indicé de plasticidad máximo (%)	21,40	27
Indicé de plasticidad mínimo (%)	3,47	20

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE ENERO MAÑANA

Tabla 26. Resultados de laboratorio mes de enero jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA						
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID
ENERO - 2011	1	0,00	17,00						
	2	4,60	17,40						
	3	12,70	15,80	154,00	96,57	80,18	16,39	MH	muestra 23
	4	44,20	16,40						
	5	4,60	16,40						
	6	10,90	16,30						
	7	7,10	16,80						
	8	0,30	17,20						
	9	0,80	17,20						
	10	0,30	17,80	149,00	108,59	86,04	22,55	MH	muestra 24
	11	0,00	17,80						
	12	0,00	18,80						
	13	0,00	19,20						
	14	0,00	18,30						
	15	0,00	17,80						
	16	14,70	18,30						
	17	0,00	17,20	146,00	80,42	68,52	11,90	MH	muestra 25
	18	0,00	18,70						
	19	1,00	18,60						
	20	10,20	18,00						
	21	0,00	17,10						
	22	8,10	16,60						
	23	0,00	17,80						
	24	0,00	17,60	109,00	74,50	62,50	12,00	MH	muestra 26
	25	0,00	17,80						
	26	2,50	17,90						
	27	12,70	16,80						
	28	9,70	17,50						
	29	14,70	16,60						
	30	1,00	16,40						
	31	0,30	16,80	120,00	99,23	79,69	19,54	MH	muestra 27

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 27. Resumen estadístico mes de enero jornada de la mañana

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (ENERO MAÑANA)		Día
Contenido de humedad máximo (%)	154,00	3
Contenido de humedad mínimo (%)	109,00	24
Limite plástico máximo (%)	86,04	10
Limite plástico mínimo (%)	62,50	24
Limite liquido máximo (%)	108,59	10
Limite liquido mínimo (%)	74,50	24
Indicé de plasticidad máximo (%)	22,55	10
Indicé de plasticidad mínimo (%)	11,90	17

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE ENERO TARDE

Tabla 28. Resultados de laboratorio mes de enero jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE						ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	
ENERO - 2011	1	0,00	27,30						
	2	4,60	25,80						
	3	12,70	24,90	146,00	102,82	81,80	21,02	MH	muestra 23
	4	44,20	22,10						
	5	4,60	24,10						
	6	10,90	24,90						
	7	7,10	23,90						
	8	0,30	22,80						
	9	0,80	23,50						
	10	0,30	24,60	150,00	81,20	72,17	9,03	MH	muestra 24
	11	0,00	27,90						
	12	0,00	27,00						
	13	0,00	24,70						
	14	0,00	26,70						
	15	0,00	27,40						
	16	14,70	25,60						
	17	0,00	26,60	167,00	86,60	76,14	10,46	MH	muestra 25
	18	0,00	25,40						
	19	1,00	26,40						
	20	10,20	26,90						
	21	0,00	26,70						
	22	8,10	27,20						
	23	0,00	28,10						
	24	0,00	27,50	107,00	78,18	60,21	17,97	MH	muestra 26
	25	0,00	27,30						
	26	2,50	25,40						
	27	12,70	25,00						
	28	9,70	25,40						
	29	14,70	24,00						
	30	1,00	26,80						
	31	0,30	26,70	124,00	101,36	83,04	18,32	MH	muestra 27

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 29. Resumen estadístico mes de enero jornada de la tarde

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAICOS (ENERO TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	106,00	16
Contenido de humedad mínimo (%)	51,00	23
Limite plástico máximo (%)	68,17	16
Limite plástico mínimo (%)	50,00	09
Limite liquido máximo (%)	85,70	16
Limite liquido mínimo (%)	61,80	09
Indicé de plasticidad máximo (%)	18,70	30
Indicé de plasticidad mínimo (%)	11,80	09

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE MARZO MAÑANA.

Tabla 30. Resultados de laboratorio mes de marzo jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA							
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	OBSERVACIONES
MARZO - 2011	1	10,20	18,20							
	2	9,40	17,40							
	3	0,00	18,10							
	4	0,00	18,40							
	5	2,50	18,80							
	6	2,80	18,30							
	7	0,30	18,70							
	8	12,70	18,80							
	9	23,90	17,70	65,00	61,80	50,00	11,80	MH	MUESTRA 1	
	10	0,30	17,10							
	11	0,00	17,70							
	12	0,00	18,40							
	13	0,00	18,90							
	14	0,00	17,80							
	15	0,00	16,70							
	16	8,10	18,30	90,00	81,30	68,17	13,13	MH	MUESTRA 2	perforacion 1
				106,00	85,70	68,00	17,70	MH		
	17	3,80	19,80							
	18	0,00	19,40							
	19	13,70	18,30							
	20	20,80	17,90							
	21	4,80	18,20							
	22	9,70	18,20							
	23	19,00	18,60	51,00	71,63	54,03	17,60	MH	MUESTRA 3	
	24	10,70	18,20							
	25	0,80	18,80							
	26	3,00	19,20							
	27	0,30	17,60							
	28	5,60	18,70							
	29	0,00	17,30							
	30	45,70	18,50	71,00	81,00	62,30	18,70	MH	MUESTRA 4	
31	0,00	18,20								

Tabla 31. Resumen estadístico mes de marzo jornada de la tarde

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (MARZO MAÑANA)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	167,00	17
Contenido de humedad mínimo (%)	107,00	24
Limite plástico máximo (%)	83,04	31
Limite plástico mínimo (%)	60,21	24
Limite liquido máximo (%)	102,82	3
Limite liquido mínimo (%)	78,18	24
Indicé de plasticidad máximo (%)	21,02	3
Indicé de plasticidad mínimo (%)	9,03	10

Fuente: Grupo de co-investigadores



MES DE MARZO TARDE.

Tabla 32. Resultados de laboratorio mes de marzo jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE							OBSERVACIONES
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	
MARZO - 2011	1	10,20	25,90							
	2	9,40								
	3	0,00	22,30							
	4	0,00	26,10							
	5	2,50	27,10							
	6	2,80	25,60							
	7	0,30	24,10							
	8	12,70	25,40							
	9	23,90	27,40	59,00	64,00	51,06	12,94	MH	MUESTRA 1	
	10	0,30	26,20							
	11	0,00	25,60							
	12	0,00	23,40							
	13	0,00	25,50							
	14	0,00	25,00							
	15	0,00	24,20							
	16	8,10	23,30	88,00	85,70	65,80	19,90	MH	MUESTRA 2	perforacion 1
	17	3,80	25,10							
	18	0,00	23,60							
	19	13,70	23,10							
	20	20,80	25,50							
	21	4,80	25,40							
	22	9,70	26,00							
	23	19,00	25,30	50,00	77,20	63,00	14,20	MH	MUESTRA 3	
	24	10,70	25,30							
	25	0,80	25,10							
	26	3,00	23,30							
	27	0,30	24,80							
	28	5,60	23,10							
	29	0,00	23,10							
	30	45,70	26,20	75,00	76,40	64,30	12,10	MH	MUESTRA 4	
	31	0,00	21,10							

Tabla 33 . Resumen estadístico mes de marzo jornada de la tarde

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (MARZO TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	88,00	16
Contenido de humedad mínimo (%)	50,00	23
Limite plástico máximo (%)	65,80	16
Limite plástico mínimo (%)	51,00	09
Limite liquido máximo (%)	85,70	16
Limite liquido mínimo (%)	64,00	09
Indicé de plasticidad máximo (%)	19,90	16
Indicé de plasticidad mínimo (%)	12,10	30

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE ABRIL MAÑANA.

Tabla 34. Resultados de laboratorio mes de abril jornada de la mañana..

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA							
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	OBSERVACIONES
ABRIL - 2011	1	15,80	18,22							
	2	11,00	17,17							
	3	21,60	18,06							
	4	5,00	18,50							
	5	1,60	18,22							
	6	10,20	18,22	125,00	67,00	49,00	18,00	MH	MUESTRA 5	perforacion 2
				87,00	46,00	41,00	5,00	MH		
	7	11,00	17,33							
	8	52,40	16,28							
	9	11,80	17,44							
	10	10,00	17,33							
	11	1,00	18,06							
	12	6,20	17,78							
	13	12,40	17,44	63,00	78,71	66,20	12,51	MH	MUESTRA 6	
	14	4,60	18,06							
	15	73,20	17,33							
	16	2,80	17,33							
	17	3,40	17,61							
	18	20,80	17,50							
	19	2,40	17,00							
	20	14,80	16,89	66,00	66,70	49,59	17,11	MH	MUESTRA 7	
	21	1,20	17,00							
	22	21,60	17,17							
	23	28,60	17,78							
	24	5,80	17,17							
	25	2,60	18,78							
	26	2,40	18,39							
	27	0,40	17,50	108,00	50,95	47,00	3,95	MH	MUESTRA 8	
	28	0,81	18,78							
29	0,00	18,56								
30	5,20	19,39								

Tabla 35 . Resumen estadístico mes de abril jornada de la mañana.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (ABRIL MAÑANA)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	125,00	6
Contenido de humedad mínimo (%)	63,00	13
Limite plástico máximo (%)	66,20	13
Limite plástico mínimo (%)	47,00	27
Limite liquido máximo (%)	78,71	13
Limite liquido mínimo (%)	46,00	06
Indicé de plasticidad máximo (%)	18,00	06
Indicé de plasticidad mínimo (%)	3,95	06

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE ABRIL TARDE.

Tabla 36. Resultados de laboratorio mes de abril jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE							OBSERVACIONES
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	
ABRIL - 2011	1	15,80	24,80							
	2	11,00	25,20							
	3	21,60	25,00							
	4	5,00	23,40							
	5	1,60	27,30							
	6	10,20	24,20	87,00	80,67	67,44	13,23	MH	MUESTRA 5	perforacion 2
	7	11,00	23,10							
	8	52,40	24,20							
	9	11,80	23,90							
	10	10,00	26,60							
	11	1,00	25,90							
	12	6,20	24,60							
	13	12,40	25,30	57,00	61,30	50,03	11,27	MH	MUESTRA 6	
	14	4,60	27,70							
	15	73,20	27,80							
	16	2,80	23,80							
	17	3,40	22,50							
	18	20,80	26,20							
	19	2,40	24,30							
	20	14,80	22,10	95,00	64,20	52,20	12,00	MH	MUESTRA 7	
	21	1,20	24,00							
	22	21,60	23,70							
	23	28,60	22,70							
	24	5,80	23,30							
	25	2,60	22,40							
	26	2,40	23,80							
	27	0,40	22,10	57,00	64,00	52,00	11,03	MH	MUESTRA 8	
	28	0,81	26,40							
	29	0,00	25,90							
	30	5,20	27,30							

Tabla 37 . Resumen estadístico mes de abril jornada de la tarde.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (ABRIL TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	95,00	20
Contenido de humedad mínimo (%)	57,00	13 y 27
Limite plástico máximo (%)	67,44	06
Limite plástico mínimo (%)	50,03	13
Limite liquido máximo (%)	80,67	06
Limite liquido mínimo (%)	61,30	13
Indicé de plasticidad máximo (%)	13,23	06
Indicé de plasticidad mínimo (%)	11,03	27

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE MAYO MAÑANA.

Tabla 38. Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA							
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	OBSERVACIONES
MAYO - 2011	1	1,00	18,56							
	2	0,00	20,94							
	3	10,80	20,22							
	4	3,60	19,06					MH	MUESTRA 9	perforacion 3
				90,30	46,56	39,30	7,26			
				83,20	57,40	42,80	14,60			
	5	0,00	18,22							
	6	4,20	19,56							
	7	29,60	18,67							
	8	17,80	18,33							
	9	2,80	17,67							
	10	0,00	17,89							
	11	0,00	18,22	57,00	57,50	44,90	12,60	MH	MUESTRA 10	
	12	0,00	18,22							
	13	0,00	19,11							
	14	11,00	17,94							
	15	0,20	17,50							
	16	8,40	17,94							
	17	2,60	17,94							
	18	0,60	18,11	96,00	57,00	46,00	11,00	MH	MUESTRA 11	
	19	4,40	18,83							
	20	9,00	17,67							
	21	0,60	18,94							
	22	1,60	17,94							
	23	6,20	19,28							
	24	2,00	18,83							
	25	1,20	18,67					MH	MUESTRA 12	
				98,00	56,00	44,00	12,00			
				127,00	67,00	45,00	22,00			
	26	0,60	17,78							
	27	7,40	17,94							
28	3,00	17,94								
30	0,40	18,33								
31	2,00	18,78								

Tabla 39 . Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la mañana.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (MAYO MAÑANA)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	127,00	25
Contenido de humedad mínimo (%)	57,00	11
Limite plástico máximo (%)	46,00	18
Limite plástico mínimo (%)	39,30	04
Limite liquido máximo (%)	67,00	25
Limite liquido mínimo (%)	46,56	04
Indicé de plasticidad máximo (%)	22,00	25
Indicé de plasticidad mínimo (%)	7,26	04

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE MAYO TARDE.

Tabla 40. Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE							
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	OBSERVACIONES
MAYO - 2011	1	1,00	25,50							
	2	0,00	25,70							
	3	10,80	25,20							
	4	3,60	21,60	59,00	57,00	56,80	42,10	MH	MUESTRA 9	
	5	0,00	26,10							
	6	4,20	20,30							
	7	29,60	25,80							
	8	17,80	25,90							
	9	2,80	27,10							
	10	0,00	26,70							
	11	0,00	28,60	59,00	70,30	59,80	10,50	MH	MUESTRA 10	
	12	0,00	27,00							
	13	0,00	26,40							
	14	11,00	25,70							
	15	0,20	---							
	16	8,40	24,90							
	17	2,60	23,80							
	18	0,60	23,50	93,00	66,70	45,00	21,70	MH	MUESTRA 11	
	19	4,40	25,30							
	20	9,00	22,70							
	21	0,60	24,60							
	22	1,60	23,60							
	23	6,20	21,90							
	24	2,00	23,20							
	25	1,20	24,20	97,00	79,00	66,00	13,00	MH	MUESTRA 12	
	26	0,60	23,70							
	27	7,40	25,10							
	28	3,00	26,00							
	30	0,40	23,20							
	31	2,00	22,10							

Tabla 41. Resumen estadístico mes de mayo jornada de la tarde.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (MAYO TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	127,00	25
Contenido de humedad mínimo (%)	57,00	11
Limite plástico máximo (%)	46,00	18
Limite plástico mínimo (%)	39,30	04
Limite liquido máximo (%)	67,00	25
Limite liquido mínimo (%)	46,56	04
Indicé de plasticidad máximo (%)	22,00	25
Indicé de plasticidad mínimo (%)	7,26	04

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE JUNIO MAÑANA.

Tabla 42. Resultados de laboratorio mes de junio jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA							OBSERVACIONES	
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID		
JUNIO - 2011	1	18,83	19,72	92,00	52,00	44,00	8,00	MH	MUESTRA 13		
	2	17,78	20,11								
	3	17,78	18,83								
	4	17,94	19,06								
	5	17,94	19,22								
	6	18,33	19,83								
	7	18,78	18,33								
	8	18,22	18,78	90,00	59,00	46,00	13,00	MH	MUESTRA 14		
	9	19,72	18,83								
	10	20,11	17,67								
	11	18,83	19,50								
	12	19,06	18,50								
	13	19,22	17,50								
	14	19,83	19,22								
	15	18,33	19,56						MH	MUESTRA 15	
				70,40	44,80	42,30	2,50				
				74,00	44,70	37,20	7,50				
	16	18,78	18,39								
	17	18,83	17,28								
	18	17,67	16,72								
	19	19,50	18,56								
	20	18,50	17,50								
	21	17,50	18,22								
	22	19,22	17,50	116,00	63,60	50,10	13,50	MH	MUESTRA 16		
	23	19,56	16,72								
	24	18,39	18,67								
	25	17,28	17,50								
	26	16,72	18,56								
	27	18,56	18,83								
	28	17,50	18,22								
29	18,22	17,78	143,00	55,20	50,09	5,11	MH	MUESTRA 17			
30	17,50	18,94									

Tabla 43 . Resumen estadístico mes de junio jornada de la mañana.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (JUNIO MAÑANA)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	143,00	29
Contenido de humedad mínimo (%)	70,40	15
Limite plástico máximo (%)	50,10	22
Limite plástico mínimo (%)	37,20	15
Limite liquido máximo (%)	63,60	22
Limite liquido mínimo (%)	44,70	15
Indicé de plasticidad máximo (%)	13,50	22
Indicé de plasticidad mínimo (%)	2,50	15

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE JUNIO TARDE.

Tabla 44. Resultados de laboratorio mes de junio jornada de la tarde.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	TARDE							OBSERVACIONES
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	
JUNIO - 2011	1	18,83	22,80	97,00	53,00	42,00	11,00	MH	MUESTRA 13	
	2	17,78	25,00							
	3	17,78	22,70							
	4	17,94	26,60							
	5	17,94	26,90							
	6	18,33	21,80							
	7	18,78	24,60							
	8	18,22	21,10	91,00	58,00	42,20	15,80	MH	MUESTRA 14	
	9	19,72	24,40							
	10	20,11	23,10							
	11	18,83	22,90							
	12	19,06	21,70							
	13	19,22	23,60							
	14	19,83	23,40							
	15	18,33	22,70	139,00		109,02	81,52	27,50	MH	MUESTRA 15
	16	18,78	23,60							
	17	18,83	21,40							
	18	17,67	23,10							
	19	19,50	22,60							
	20	18,50	21,90							
	21	17,50	23,40							
	22	19,22	23,60	139,00	55,80	44,10	11,70	MH	MUESTRA 16	
	23	19,56	23,50							
	24	18,39	23,00							
	25	17,28	24,20							
	26	16,72	24,90							
	27	18,56	24,40							
	28	17,50	23,10							
	29	18,22	24,40	145,00	57,80	40,20	17,60	MH	MUESTRA 17	
	30	17,50	24,30							

Tabla 45. Resumen estadístico mes de junio jornada de la tarde.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (JUNIO TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	145,00	29
Contenido de humedad mínimo (%)	91,00	08
Limite plástico máximo (%)	81,0	15
Limite plástico mínimo (%)	40,20	29
Limite liquido máximo (%)	109,00	15
Limite liquido mínimo (%)	53,00	01
Indicé de plasticidad máximo (%)	27,50	15
Indicé de plasticidad mínimo (%)	11,00	01

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE JULIO TARDE.

Tabla 46. Resultados de laboratorio mes de julio jornada de la mañana.

MES - AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA							OBSERVACIONES
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	ID	
JULIO - 2011	1	44,20	19,67							
	2	0,00	19,22							
	3	0,00	19,28							
	4	1,00	19,06							
	5	47,20	17,33							
	6	6,00	17,00	131,00	57,40	44,10	13,30	MH	MUESTRA 18	
	7	7,60	16,39							
	8	0,00	17,61							
	9	1,40	18,83							El suelo se
	10	3,60	19,22							
	11	0,00	18,50							
	12	0,00	18,94							
	13	0,00	19,94	116,00	52,25	44,32	7,93	MH	MUESTRA 19	
	14	0,00	19,28							
	15	0,00	18,50							
	16	0,00	19,28							
	17	1,00	19,28							
	18	7,20	17,94							
	19	0,60	16,72							
	20	0,60	16,39	91,00	63,60	48,90	14,70	MH	MUESTRA 20	EL CILINDRO SE FRACTURO EN EL MOMENTO DEL
				120,00	55,80	45,00	10,80			
	21	0,60	17,67							
	22	0,00	17,17							
	23	0,00	18,22							
	24	0,00	18,56							
	25	0,00	16,67							
	26	0,34	16,53							
	27	0,40	18,53							
	28	0,00	18,22							
	29	0,00	18,50							
	30	0,00	18,56							
31	3,80	17,94								

Tabla 47 . Resumen estadístico mes de junio jornada de la tarde.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (JUNIO TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	131,00	06
Contenido de humedad mínimo (%)	91,00	20
Limite plástico máximo (%)	48,90	20
Limite plástico mínimo (%)	44,10	06
Limite liquido máximo (%)	63,60	20
Limite liquido mínimo (%)	52,25	13
Indicé de plasticidad máximo (%)	14,70	20
Indicé de plasticidad mínimo (%)	7,93	13

Fuente: Grupo de co-investigadores

8. 1. 2 Muestras inalteradas parámetros geomecánicos (perforación con tubos shelby para periodos cortos 6 meses)

Primera Perforación

Tabla 48. Resultados de laboratorio primera perforación mes de septiembre de 2010.

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	OBSERVACIONES	
SEPTIEMBRE-2010	27	7,11	16,50		63,79	58,00	5,79	MH				PF 1 - 1 mt	PERFORACION	
					59,20	62,60	51,00	11,60	MH	1,37	0,86	1,28		PF 1 - 2 mt
					84,53	71,10	13,43	MH						PF 1 - 3 mt
					59,26	50,00	9,26	MH						PF 1 - 4 mt
					13,40	76,05	59,80	16,25	MH	0,69	0,61	0,86		PF 1 - 5 mt

Fuente: Grupo de co-investigadores

Segunda Perforación

Tabla 49. Resultados de laboratorio segunda perforación mes de octubre de 2010.

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	OBSERVACIONES	
OCTUBRE-2010	25	9,10	17,30		92,00	85,55	63,33	22,22	MH				muestra 13	
					87,40	66,54	53,00	13,54	MH	1,46	0,78	0,98	PF2 - 1,8 mt	
					95,71	73,00	22,71	MH					PF2 - 3,3 mt	
					35,00	79,14	61,00	18,14	MH	1,34	0,99	1,45	PF2 - 4,8 mt	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tercera Perforación

Tabla 50. Resultados de laboratorio tercera perforación mes de diciembre de 2010.

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	OBSERVACIONES
DICIEMBRE-2010	9	15,50	17,70	107,00	51,88	43,00	8,88	MH	1,30	0,66	0,53	PF3 - 1,8 mt	
				46,09	39,00	7,09	ML					PF3 - 3,3 mt	
				123,50	52,31					0,13	0,06	2,04	PF3 - 4,8 mt

Fuente: Grupo de co-investigadores

Cuarta Perforación

Tabla 51. Resultados de laboratorio cuarta perforación mes de enero de 2011.

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	OBSERVACIONES
ENERO - 2011	25	0,00	17,80	95,1	61,43	56,00	5,43	MH	1,40	0,72	0,76	PF4 - 1,8 mt	
				59,99	53,00	6,99	MH					PF4 - 3,3 mt	
				126,5	84,30	68,00	16,30	MH	1,37	0,60	0,69	PF4 - 4,8 mt	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Quinta Perforación

Tabla 52. Resultados de laboratorio quinta perforación mes de febrero 2011.

MES-AÑO	DIA	LLUVIA (mm)	MAÑANA										
			TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO (Gr/Cm ³)	PESO UNITARIO SECO (Gr/Cm ³)	COMPRESION SIMPLE (kg/cm ²)	ID	OBSERVACIONES
FEBRERO-2011	7	17,00	16,60	80,40	64,32	57,00	7,32	MH	1,47	0,81	1,34	PF5-1,8mt	
					62,70	52,00	10,70	MH				PF5-3,3mt	
				82,30					1,48	0,81	0,53	PF5-4,8mt	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 53. Resumen estadístico de los parámetros geomecánicos de las muestras inalteradas.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECANICOS (PERFORACIONES)		FECHA
Contenido de humedad máximo (%)	126,50	25-Ene-11
Contenido de humedad mínimo (%)	13,40	27-Sep-10
Limite plástico máximo (%)	73,00	25-Oct-10
Limite plástico mínimo (%)	39,00	09-Dic-10
Limite liquido máximo (%)	95,71	25-Oct-10
Limite liquido mínimo (%)	46,09	09-Dic-10
Indicé de plasticidad máximo (%)	22,71	25-Oct-10
Indicé de plasticidad mínimo (%)	5,43	25-Ene-11
Peso unitario húmedo máximo G/Cm ³	1,48	07-Feb-11
Peso unitario húmedo mínimo G/Cm ³	0,13	09-Dic-10
peso unitario seco máximo G/Cm ³	0,99	25-Oct-10
peso unitario seco mínimo G/Cm ³	0,06	09-Dic-10
Compresión simple máximo Kg/Cm ²	2,04	09-Dic-10
Compresión simple mínimo Kg/Cm ²	0,53	09-Dic-10 07-Feb-11

Fuente: Grupo de co-investigadore

Primera Perforación

Tabla 54. Resultados de laboratorio primera perforación mes de marzo de 2012.

PERFORACION #1													
FECHA	HORA	LLUVIA	TEMPERATURA	CONTENIDO DE HUMEDA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLSTICIDAD	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO	PESO UNITARIO SECO	COMPRESION SIMPLE	PROFUNIDAD	
16-03-2011,	06:00 p.m.	8,10	22,3	88	81,3	68,7	12,6	MH				1,5	
				90	62	47	15	MH	1,18	0,721	0,95	1,5	
16-03-2011,	08:00 a.m.												
				106	98	84,7	13,3	MH	1,389	0,96	1,6	4,5	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Segunda Perforación

Tabla 55. Resultados de laboratorio segunda perforación mes de abril de 2012.

PERFORACION #2													
FECHA	HORA	LLUVIA	TEMPERATURA	CONTENIDO DE HUMEDA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLSTICIDAD	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO	PESO UNITARIO SECO	COMPRESION SIMPLE	PROFUNIDAD	
6-04-2011,	06:00 p.m.	10,22	20,88	87	80,8	67,4	13,4	MH				1,5	
				125	67,3	49	18,3	MH	1,07	0,75	2,23	1,5	
6-04-2011,	08:00 a.m.												
				87	46	41	5	MH	1,008	0,53	1,25	4,5	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tercera Perforación

Tabla 56. Resultados de laboratorio tercera perforación mes de diciembre de 2010.

PERFORACION # 3													
FECHA	HORA	LLUVIA	TEMPERATURA	CONTENIDO DE HUMEDA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLSTICIDAD	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO	PESO UNITARIO SECO	COMPRESION SIMPLE	PROFUNDIDAD	
4-05-2011,	06:00 p.m.	0	21,7	57	56,8	42,18	14,62	MH				1,5	
				69	46,5	39,5	7	MH	1,146	0,68	0,95	1,5	
4-05-2011,	08:00 a.m.												
				82	57		57	MH	1,18	0,65	0,73	4,5	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Cuarta Perforación

Tabla 57. Resultados de laboratorio cuarta perforación mes de mayo de 2012.

PERFORACION # 4													
FECHA	HORA	LLUVIA	TEMPERATURA	CONTENIDO DE HUMEDA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLSTICIDAD	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO	PESO UNITARIO SECO	COMPRESION SIMPLE	PROFUNDIDAD	
25-05-2011,	06:00 p.m.	9	20,59	75	79,4	62,6	16,8	MH				1,5	
				98	56	44	12	MH	1,44	0,729	0,7	1,5	
25-05-2011,	08:00 a.m.												
				127	67	45	22	MH	1,295	0,613	0,55	4,5	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Quinta Perforación

Tabla 58. Resultados de laboratorio quinta perforación mes de junio 2012.

PERFORACION #5													
FECHA	HORA	LLUVIA	TEMPERATURA	CONTENIDO DE HUMEDA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLSTICIDAD	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO	PESO UNITARIO SECO	COMPRESION SIMPLE	PROFUNDIDAD	
15-06-2011,	06:00 p.m.	12	21,33	150	51,33	42	9,33	MH				1,5	
				70	44	42	2	MH	1,5	0,88	0,96	1,5	
15-06-2011,	08:00 a.m.												
				74	44,5	37	7,5	MH	1,49	0,857	0,47	4,5	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Sexta Perforación

Tabla 59. Resultados de laboratorio sexta perforación mes de julio 2012.

PERFORACION #6													
FECHA	HORA	LLUVIA	TEMPERATURA	CONTENIDO DE HUMEDA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLSTICIDAD	CLASIFICACION	PESO UNITARIO HUMEDO	PESO UNITARIO SECO	COMPRESION SIMPLE	PROFUNDIDAD	
20-07-2011,	06:00 p.m.	3,6	22	162	62	51	11	MH				1,5	
				91,6	63	48	15	MH	1,22	0,64	0,25	1,5	
20-07-2011,	08:00 a.m.												
				74	55,8	45	10,8	MH	1,326	0,6	0,12	4,5	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 60. Resumen estadístico de los parámetros geomecánicos de las muestras inalteradas.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECHANICOS (PERFORACIONES)		FECHA
Contenido de humedad máximo (%)	162,00	20-07-2011,
Contenido de humedad mínimo (%)	57	4-05-2011,
Limite plástico máximo (%)	84,7	16-03-2011,
Limite plástico mínimo (%)	37	15-06-2011,
Limite liquido máximo (%)	81,3	16-03-2011,
Limite liquido mínimo (%)	44	15-06-2011,
Indicé de plasticidad máximo (%)	18,3	6-04-2011,
Indicé de plasticidad mínimo (%)	2	15-06-2011,
Peso unitario húmedo máximo G/Cm ³	1,5	15-06-2011,
Peso unitario húmedo mínimo G/Cm ³	1,07	6-04-2011,
peso unitario seco máximo G/Cm ³	0,88	15-06-2011,
peso unitario seco mínimo G/Cm ³	0,53	6-04-2011,
Compresión simple máximo Kg/Cm ²	2,23	6-04-2011,
Compresión simple mínimo Kg/Cm ²	0,12	20-07-2011,

Fuente: Grupo de co-investigadores

8. 2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.

Tabla 61. Perfil estratigráfico general

Profundidad	Descripción	Cont. Humedad %	Limite liquido %	Limite plástico %	Índice de plasticidad %	Compresión no confinada Kg/cm ²
0,0	Lleno Limo vegetal negro					
0,5						
1,8	Limo arcilloso café amarilloso	95.1	61.43	56.00	5.43	0.76
3,3	Limo arcilloso café amarilloso claro		59.99	53.00	6.99	
4,8	Limo arcilloso café amarilloso claro	126.5	84.30	68.00	16.30	0.69

Fuente: Grupo de co-investigadores

El suelo se clasifico por medio del sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S). El cual arrojó una clase de suelo (MH) limo de alta compresibilidad.

8.3 BASE DE DATOS CLIMATOLÓGICOS.

La base de datos fue suministrada por la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA, CARDER; se escogió como estación base para la ejecución de este estudio la estación meteorológica del sistema de vigilancia de calidad del aire. Esta contiene la temperatura promedio alta y baja, las precipitaciones diarias de la ciudad de Pereira, con fecha de julio del 2010 hasta marzo del 2011.

Tabla 62. Bese de datos estación climatológica carder mes de julio de 2010.

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
JULIO - 2010	1	21,10	16,70	29,50	6,80
	2	19,90	17,60	24,70	8,60
	3	21,70	16,70	27,20	3,20
	4	20,90	17,70	24,80	0,00
	5	20,50	17,90	25,50	29,60
	6	17,50	13,70	23,70	10,60
	7	15,90	13,40	21,10	3,80
	8	16,90	13,10	22,10	0,00
	9	17,40	14,10	22,50	3,00
	10	18,10	14,90	24,70	0,20
	11	15,00	13,60	17,10	3,20
	12	16,10	13,30	22,20	0,60
	13	16,50	13,30	21,70	0,20
	14	15,80	13,60	20,30	0,00
	15	14,80	13,40	18,30	0,80
	16	16,30	12,90	20,70	0,20
	17	20,40	16,60	26,90	0,00
	18	21,10	18,20	26,20	0,00
	19	21,80	16,90	27,40	0,00
	20	22,10	19,00	27,80	0,00
	21	22,50	17,80	27,90	0,20
	22	22,40	17,80	28,50	0,80
	23	22,50	18,30	27,40	0,00
	24	22,70	19,70	26,70	5,40
	25	22,40	18,70	26,60	0,00
	26	21,70	18,10	24,80	11,40
	27	20,50	18,00	24,80	3,20
	28	20,70	18,10	24,90	0,60
	29	21,40	18,40	25,00	2,80
	30	21,20	18,30	26,40	20,80
	31	19,40	17,70	22,90	11,80

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de julio de la temperatura promedio es de 19,59

C° y la lluvia acumulada mensual es de 127,80 mm.

Tabla 63. Bese de datos estación climatológica carder mes de agosto de 2010.

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
AGOSTO-2010	1	20,40	17,80	25,90	1,00
	2	21,50	18,10	26,50	0,40
	3	19,40	17,70	22,30	3,20
	4	20,70	17,00	26,10	2,20
	5	21,40	17,60	27,10	2,60
	6	21,10	18,90	25,60	0,00
	7	20,10	17,60	24,10	2,60
	8	20,50	17,20	25,40	0,40
	9	21,70	17,90	27,40	0,40
	10	21,30	17,80	26,20	1,20
	11	21,10	17,80	25,60	1,00
	12	19,60	17,40	23,40	6,00
	13	20,50	17,10	25,50	0,20
	14	20,90	17,80	25,00	0,00
	15	20,10	17,90	24,20	0,40
	16	19,00	15,40	23,30	0,40
	17	20,70	16,60	25,10	0,00
	18	20,10	16,20	23,60	31,40
	19	19,10	17,10	23,10	7,00
	20	19,30	15,70	25,50	25,00
	21	20,30	16,80	25,40	1,00
	22	20,60	16,20	26,00	0,00
	23	20,80	17,20	25,30	0,50
	24	21,00	17,90	25,30	0,76
	25	20,60	18,10	25,10	3,29
	26	19,70	17,10	23,30	34,54
	27	20,10	16,40	24,80	1,51
	28	19,70	16,70	23,10	2,53
	29	19,70	16,70	23,10	2,53
	30	20,60	15,70	26,20	0,25
	31	18,90	17,10	21,10	29,70

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de agosto de la temperatura promedio es de 20,34 C° y la lluvia acumulada mensual es de 162,01 mm.

Tabla 64. Resultados base de datos estación climatológica carder mes de septiembre de 2010.

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
SEPTIEMBRE 2010	1	18,90	16,70	24,80	34,04
	2	19,60	16,80	25,20	3,03
	3	20,50	17,90	25,00	0,76
	4	19,80	18,00	23,40	1,00
	5	20,80	16,80	27,30	3,05
	6	19,90	17,80	24,20	2,27
	7	19,80	17,30	23,10	1,26
	8	18,90	16,60	24,20	24,63
	9	19,70	15,60	23,90	0,00
	10	21,20	16,80	26,60	0,00
	11	20,80	16,80	25,90	0,00
	12	20,60	17,90	24,60	0,00
	13	20,10	17,50	25,30	17,01
	14	21,90	17,30	27,70	0,00
	15	21,60	17,90	27,80	3,30
	16	20,10	18,30	23,80	2,53
	17	19,80	17,60	22,50	0,25
	18	21,20	17,30	26,20	0,00
	19	20,00	17,80	24,30	1,01
	20	18,30	16,30	22,10	14,20
	21	19,60	16,00	24,00	0,00
	22	20,00	17,90	23,70	1,00
	23	19,30	17,10	22,70	24,63
	24	19,30	15,90	23,30	0,75
	25	19,30	17,10	22,40	4,06
	26	20,00	16,80	23,80	20,83
	27	19,00	16,50	22,10	7,11
	28	20,20	16,80	26,40	0,50
	29	21,10	17,20	25,90	11,17
	30	20,10	17,10	27,30	5,08

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de septiembre de la temperatura promedio es de 20,05 C° y la lluvia acumulada mensual es de 183,47 mm.

Tabla 65. Resultados base de datos estación climatológica carder mes de octubre de 2010

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
OCTUBRE-2010	1	19,90	15,80	25,50	5,30
	2	20,80	16,70	25,70	0,00
	3	20,40	17,20	25,20	11,70
	4	18,90	16,70	21,60	4,30
	5	20,10	17,00	26,10	14,20
	6	18,60	17,50	20,30	19,00
	7	21,30	174,00	25,80	0,00
	8	20,40	17,40	25,90	13,70
	9	21,60	17,00	27,10	0,50
	10	21,40	17,10	26,70	10,40
	11	22,20	18,10	28,60	0,00
	12	21,60	16,90	27,00	0,00
	13	21,70	17,00	26,40	0,00
	14	21,30	18,20	25,70	0,00
	15	---	---	---	0,00
	16	21,00	18,60	24,90	0,00
	17	20,10	18,20	23,80	0,30
	18	19,70	16,70	23,50	11,40
	19	19,80	16,20	25,30	36,60
	20	19,00	15,60	22,70	0,00
	21	19,90	16,20	24,60	13,00
	22	19,40	16,20	23,60	2,00
	23	19,20	16,90	21,90	12,70
	24	19,40	16,70	23,20	14,50
	25	19,40	17,30	24,20	9,10
	26	20,00	16,90	23,70	9,70
	27	19,50	17,50	25,10	7,90
	28	19,40	16,70	26,00	4,30
	29	19,10	17,10	23,20	20,60
	30	18,90	16,80	22,10	2,30

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de octubre de la temperatura promedio es de 20,14 C° y la lluvia acumulada mensual es de 223,50 mm.

Tabla 66. Resultados base de datos estación climatológica carder mes de noviembre de 2011.

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
NOVIEMBRE 2010	1	19,30	16,80	22,80	4,60
	2	19,90	17,20	25,00	3,00
	3	19,10	16,90	22,70	2,40
	4	20,70	16,40	26,60	0,00
	5	21,40	17,50	26,90	0,40
	6	19,00	17,20	21,80	39,60
	7	19,10	17,80	24,60	5,80
	8	18,40	16,90	21,10	25,60
	9	19,20	16,40	24,40	4,00
	10	19,40	16,50	23,10	11,80
	11	19,30	17,20	22,90	25,60
	12	18,60	16,90	21,70	38,40
	13	18,70	16,60	23,60	9,80
	14	18,70	16,30	23,40	9,40
	15	18,30	16,60	22,70	21,60
	16	18,80	16,50	23,60	24,20
	17	18,10	16,50	21,40	21,80
	18	18,80	16,10	23,10	8,00
	19	18,30	16,70	22,60	33,20
	20	18,50	14,80	21,90	2,20
	21	19,00	16,20	23,40	2,20
	22	19,00	16,00	23,60	11,00
	23	19,20	16,20	23,50	3,00
	24	18,90	17,20	23,00	1,20
	25	19,20	15,80	24,20	5,20
	26	20,10	16,70	24,90	4,00
	27	20,20	18,10	24,40	2,80
	28	19,20	17,20	23,10	29,20
	29	20,40	17,10	24,40	0,00
	30	20,30	17,40	24,30	13,60

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de noviembre de la temperatura promedio es de 19,24 C° y la lluvia acumulada mensual es de 363,60 mm.

Tabla 67. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Diciembre De 2011.

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
DICIEMBRE-2010	1	19,60	17,00	24,00	23,40
	2	18,60	17,10	22,60	44,20
	3	18,60	16,70	22,10	17,50
	4	17,70	16,60	18,90	12,40
	5	19,60	15,20	24,10	0,00
	6	20,90	17,40	25,80	2,00
	7	18,90	17,60	22,30	9,10
	8	20,00	17,00	23,90	0,50
	9	20,10	17,70	24,90	15,50
	10	19,60	16,90	23,70	6,30
	11	20,40	17,40	24,60	0,00
	12	20,50	18,50	25,00	2,80
	13	18,60	16,80	22,30	22,40
	14	19,80	15,90	25,40	0,50
	15	19,50	15,70	24,30	30,50
	16	19,40	16,00	22,90	0,50
	17	20,20	17,50	24,20	3,80
	18	18,80	16,80	23,60	17,80
	19	18,70	16,60	23,70	13,00
	20	18,30	16,30	22,10	13,20
	21	19,70	16,80	24,30	0,30
	22	20,20	17,30	24,50	0,00
	23	19,30	17,20	22,10	3,00
	24	19,70	17,50	23,80	0,30
	25	20,20	17,30	25,20	0,50
	26	19,30	17,30	21,30	2,50
	27	20,40	17,30	25,70	4,30
	28	20,60	17,30	25,00	10,70
	29	21,10	17,70	25,60	0,30
	30	21,40	18,40	26,30	0,00
	31	21,20	17,20	26,40	16,50

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de diciembre de la temperatura promedio es de 19,71 C° y la lluvia acumulada mensual es de 273,80 mm.

Tabla 68. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Enero De 2011.

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
ENERO - 2011	1	21,50	17,00	27,30	0,00
	2	20,50	17,40	25,80	4,60
	3	20,30	15,80	24,90	12,70
	4	18,30	16,40	22,10	44,20
	5	19,10	16,40	24,10	4,60
	6	19,30	16,30	24,90	10,90
	7	19,40	16,80	23,90	7,10
	8	19,30	17,20	22,80	0,30
	9	19,50	17,20	23,50	0,80
	10	20,60	17,80	24,60	0,30
	11	22,20	17,80	27,90	0,00
	12	22,30	18,80	27,00	0,00
	13	21,10	19,20	24,70	0,00
	14	21,70	18,30	26,70	0,00
	15	21,80	17,80	27,40	0,00
	16	20,50	18,30	25,60	14,70
	17	21,30	17,20	26,60	0,00
	18	21,40	18,70	25,40	0,00
	19	21,40	18,60	26,40	1,00
	20	21,20	18,00	26,90	10,20
	21	21,30	17,10	26,70	0,00
	22	21,40	16,60	27,20	8,10
	23	21,80	17,80	28,10	0,00
	24	21,60	17,60	27,50	0,00
	25	21,80	17,80	27,30	0,00
	26	20,70	17,90	25,40	2,50
	27	20,20	16,80	25,00	12,70
	28	19,80	17,50	25,40	9,70
	29	19,30	16,60	24,00	14,70
	30	20,90	16,40	26,80	1,00
	31	21,30	16,80	26,70	0,30

Fuente: Grupo de co-investigadores.

El promedio mensual para el mes de enero de la temperatura promedio es de 20,74 C° y la lluvia acumulada mensual es de 160,40 mm.

Tabla 69. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Febrero De 2011.

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
FEBRERO-2011	1	21,40	18,10	27,30	0,50
	2	22,20	17,20	28,60	0,50
	3	21,90	16,60	27,80	0,00
	4	21,00	17,90	26,70	12,20
	5	20,20	17,60	26,10	2,80
	6	21,00	17,60	24,70	0,00
	7	18,60	16,60	20,40	17,00
	8	17,80	12,80	23,30	14,00
	9	15,20	12,70	19,30	6,10
	10	16,10	13,30	21,70	1,50
	11	15,50	12,70	21,20	16,00
	12	17,70	13,40	23,80	0,00
	13	16,30	13,70	21,60	46,20
	14	16,30	12,90	20,70	9,40
	15	16,80	14,20	22,40	1,50
	16	15,50	13,20	19,10	16,50
	17	15,80	13,70	19,70	11,40
	18	15,90	13,40	21,80	4,10
	19	16,20	12,60	20,50	24,40
	20	17,30	12,80	23,00	19,80
	21	19,60	14,10	28,20	0,00
	22	22,30	17,90	28,20	0,00
	23	20,60	18,50	26,30	9,10
	24	19,30	18,10	21,90	11,40
	25	21,20	17,80	27,60	2,30
	26	19,20	17,80	22,60	0,00
	27				
	28				

Fuente: Grupo de co-investigadores.

El promedio mensual para el mes de febrero de la temperatura promedio es de 18,50 C° y la lluvia acumulada mensual es de 226,70 mm.

Tabla 70. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De Marzo De 2011

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
MARZO - 2011	1	20,70	18,20	24,50	10,20
	2	20,20	17,40	24,80	9,40
	3	21,60	18,10	27,00	0,00
	4	22,20	18,40	27,90	0,00
	5	21,70	18,80	26,70	2,50
	6	20,20	18,30	24,10	2,80
	7	22,10	18,70	26,90	0,30
	8	21,60	18,80	26,60	12,70
	9	19,70	17,70	25,20	23,90
	10	20,00	17,10	24,30	0,30
	11	21,40	17,70	25,60	0,00
	12	22,00	18,40	27,50	0,00
	13	22,40	18,90	27,90	0,00
	14	22,30	17,80	28,40	0,00
	15	22,20	16,70	27,80	0,00
	16	22,30	18,30	27,60	8,10
	17	22,40	19,80	26,30	3,80
	18	22,20	19,40	26,10	0,00
	19	21,20	18,30	26,10	13,70
	20	20,10	17,90	23,60	20,80
	21	20,20	18,20	24,70	4,80
	22	20,30	18,20	25,70	9,70
	23	20,70	18,60	26,10	19,00
	24	21,10	18,20	25,70	10,70
	25	21,20	18,80	25,60	0,80
	26	21,20	19,20	24,40	3,00
	27	21,90	17,60	28,30	0,30
	28	20,80	18,70	25,60	5,60
	29	22,10	17,30	27,40	0,00
	30	22,10	18,50	28,60	45,70
	31	22,30	18,20	28,00	0,00

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de marzo de la temperatura promedio es de 21,37 C° y la lluvia acumulada mensual es de 208,10 mm.

Tabla 71. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De ABRIL De 2011

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
ABRIL - 2011	1	22,05	18,22	27,56	15,80
	2	20,74	17,17	24,83	11,00
	3	21,10	18,06	25,83	21,60
	4	20,50	18,50	24,28	5,00
	5	20,19	18,22	22,83	1,60
	6	20,88	18,22	25,06	10,20
	7	20,63	17,33	24,33	11,00
	8	20,80	16,28	24,83	52,40
	9	19,65	17,44	23,11	11,80
	10	19,63	17,33	22,17	10,00
	11	20,63	18,06	24,56	1,00
	12	19,47	17,78	21,94	6,20
	13	20,48	17,44	24,83	12,40
	14	21,04	18,06	26,44	4,60
	15	19,08	17,33	22,44	73,20
	16	19,28	17,33	22,83	2,80
	17	19,57	17,61	22,89	3,40
	18	19,04	17,50	20,83	20,80
	19	19,68	17,00	23,78	2,40
	20	19,20	16,89	23,78	14,80
	21	20,57	17,00	24,67	1,20
	22	20,00	17,17	23,89	21,60
	23	20,62	17,78	24,06	28,60
	24	20,14	17,17	24,56	5,80
	25	20,60	18,78	24,94	2,60
	26	20,64	18,39	26,44	2,40
	27	20,50	17,50	24,94	0,40
	28	20,48	17,44	24,94	6,00
	29	22,11	18,50	26,83	0,00
	30	22,13	18,50	26,00	13,60

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de abril de la temperatura promedio es de 20,44 C° y la lluvia acumulada mensual es de 374,20 mm.

Tabla 72. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De mayo De 2011

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
mayo-2011	1	21,55	19,56	26,50	0,00
	2	22,55	19,06	27,22	0,40
	3	20,85	18,78	21,89	0,81
	4	21,73	18,56	25,72	0,00
	5	21,98	19,39	25,33	5,20
	6	22,95	18,56	27,44	1,00
	7	23,38	20,94	21,17	0,00
	8	21,55	20,22	23,67	10,80
	9	20,96	19,06	24,72	3,60
	10	22,99	18,22	27,94	0,00
	11	21,26	19,56	22,89	4,20
	12	20,98	18,67	26,22	29,60
	13	20,17	18,33	24,48	17,80
	14	19,03	17,67	20,94	2,80
	15	20,87	17,89	25,06	0,00
	16	21,66	18,22	25,94	0,00
	17	21,99	18,22	21,99	0,00
	18	21,76	19,11	26,22	0,00
	19	20,33	17,94	23,56	11,00
	20	20,95	17,50	24,83	0,20
	21	19,81	17,94	23,22	8,40
	22	19,80	17,94	23,56	2,60
	23	21,31	18,11	27,06	0,60
	24	21,37	18,83	26,00	4,40
	25	20,59	17,67	24,94	9,00
	26	21,12	18,94	24,06	0,60
	27	21,76	17,94	26,11	1,60
	28	21,05	19,28	24,06	6,20
	29	21,07	18,83	24,67	2,00
	30	21,92	18,67	25,72	1,20
	31	22,12	20,11	25,61	0,40

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de mayo de la temperatura promedio es de 21,37 C° y la lluvia acumulada mensual es de 208,10 mm.

Tabla 73. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De junio De 2011

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
junio-2011	1	20,72	18,83	24,06	22,80
	2	19,12	17,78	20,78	27,40
	3	20,27	17,78	23,22	0,60
	4	19,92	17,94	22,83	7,40
	5	21,64	17,94	26,61	3,00
	6	21,50	18,33	25,50	0,40
	7	20,93	18,78	24,33	2,00
	8	22,40	18,22	26,44	0,80
	9	23,04	19,72	26,94	0,00
	10	22,82	20,11	27,22	0,00
	11	23,05	18,83	27,78	0,00
	12	22,74	19,06	27,33	1,00
	13	23,18	19,22	27,89	0,00
	14	21,88	19,83	24,44	4,40
	15	21,33	18,33	25,22	12,20
	16	20,94	18,78	24,28	0,20
	17	21,41	18,83	25,50	19,60
	18	21,33	17,67	24,06	19,60
	19	21,48	19,50	25,94	19,60
	20	20,89	18,50	24,94	19,60
	21	21,60	17,50	26,72	19,60
	22	22,39	19,22	27,67	19,60
	23	20,82	19,56	23,56	19,60
	24	21,26	18,39	25,11	19,60
	25	19,19	17,28	21,78	19,60
	26	20,69	16,72	24,94	19,60
	27	21,40	18,56	26,44	19,60
	28	21,48	17,50	27,44	19,60
	29	21,15	18,22	26,94	19,60
	30	20,45	17,50	23,50	19,60

Fuente: Grupo de co-investigadore

El promedio mensual para el mes de junio de la temperatura promedio es de 21,37 C° y la lluvia acumulada mensual es de 356,60 mm.

Tabla 74. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De julio De 2011

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
julio-2011	1	20,22	16,72	24,83	6,40
	2	20,63	18,67	23,22	4,20
	3	21,58	17,50	25,61	0,20
	4	21,67	18,56	25,44	1,80
	5	22,16	18,83	27,06	0,00
	6	20,09	18,22	22,44	44,20
	7	20,97	17,78	26,44	0,20
	8	22,31	18,94	26,61	0,00
	9	22,58	19,67	26,72	0,00
	10	22,38	19,22	26,72	0,00
	11	22,12	19,28	26,00	0,00
	12	21,19	19,06	25,44	1,00
	13	18,53	17,33	21,39	47,20
	14	19,48	17,00	22,83	6,00
	15	18,97	16,39	23,78	7,60
	16	20,90	17,61	26,83	0,00
	17	20,72	18,83	24,44	1,40
	18	21,57	18,22	25,44	0,00
	19	21,80	18,06	26,00	10,40
	20	22,03	19,22	27,52	3,60
	21	22,45	18,50	27,56	0,00
	22	22,48	18,94	27,22	0,00
	23	23,03	19,94	27,56	0,00
	24	22,07	19,28	25,94	0,00
	25	22,80	18,50	28,17	0,00
	26	22,41	19,28	27,67	0,00
	27	22,02	19,28	27,22	1,00
	28	19,94	17,94	22,17	7,20
	29	18,52	16,72	20,78	0,60
	30	18,36	16,39	20,22	0,60
31	19,71	17,67	23,22	0,60	

Fuente: Grupo de co-investigadore

El promedio mensual para el mes de junio de la temperatura promedio es de 21,15 C° y la lluvia acumulada mensual es de 144,2 mm.

Tabla 75. Resultados Base De Datos Estación Climatológica Carder Mes De agosto De 2011

MES - AÑO	DIA	TEMPERATURA PROMEDIO (C°)	TEMPERATURA BAJA (C°)	TEMPERATURA ALTA (C°)	LLUVIA (mm)
agosto-2011	1	20,45	17,17	24,83	0,00
	2	21,37	18,22	26,22	0,00
	3	20,78	18,56	25,44	0,00
	4	21,64	16,67	26,61	0,00
	5	21,56	16,53	25,34	0,34
	6	22,59	18,53	28,17	0,40
	7	23,19	18,22	30,00	0,00
	8	23,13	18,50	28,28	0,00
	9	21,74	18,56	26,00	0,00
	10	21,43	17,94	26,61	3,80
	11	21,78	17,78	25,33	0,00
	12	20,51	18,50	23,67	1,00
	13	20,37	17,67	26,11	14,40
	14	20,93	18,06	25,94	4,60
	15	20,72	18,50	23,78	0,20
	16	20,45	18,06	24,94	3,20
	17	21,21	17,89	25,94	0,00
	18	21,19	18,22	25,06	9,60
	19	20,52	17,50	23,39	1,20
	20	19,95	17,61	23,00	3,40
	21	20,28	17,06	24,67	0,40
	22	21,17	18,67	24,72	0,00
	23	20,43	17,89	25,83	18,00
	24	20,18	17,28	24,33	0,60
	25	21,33	17,00	26,11	0,00
	26	21,78	17,78	26,33	0,00
	27	22,37	18,67	27,56	0,00
	28	20,89	16,67	27,22	0,00
	29	21,99	18,78	27,67	0,00
	30	22,62	17,78	28,94	0,00
	31	23,13	19,56	28,17	0,00

Fuente: Grupo de co-investigadore

El promedio mensual para el mes de junio de la temperatura promedio es de 21,34 C° y la lluvia acumulada mensual es de 61,14 mm.



8. 4. POSIBLES VARIACIONES ENTRE PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.

Al efectuar las correlaciones entre las diferentes variables que se trabajaron; se encontró que la variación de los contenidos de humedad tanto en la mañana como en la tarde no fue significativa con su precipitación diaria, los contenidos de humedad no tuvieron cambios significativos con relación de la temperatura, esto nos revela que no se podrá obtener una correlación por medio de la cual se puedan relacionar o determinar que la variación del contenido de humedad está en función directa, de la precipitación del día o de la temperatura.

Durante la investigación se encontraron algunas variaciones en el límite líquido y límite plástico, pero se sabe que técnicamente estos valores no tienen ninguna relación con la temperatura ni con la precipitación del día, por lo que sus valores son inducidos y determinados en el laboratorio por medios artificiales.

Se pudo evidenciar durante el tiempo de la investigación que las variaciones de la temperatura y las precipitaciones diarias comparadas con los parámetros mecánicos como la cohesión y la fricción conservaron un mismo rango de valores.

Teniendo en cuenta los resultados de laboratorio obtenidos y los datos suministrados por la estación climatológica se determinó que las únicas correlaciones posibles de realizar serían: contenido de humedad versus lluvias acumuladas y algunos rangos de lluvias acumuladas con contenido de humedad.

8. 4. 1 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos cortos (6meses).

Tabla # 76. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA QUINCENAL	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	58,4	74	64
2	63,4	164	82
3	21	71	61
4	74,5	71	75
5	110,71	67	71
6	119,76	51	50
7	117	66	95
8	66,46	80	85
9	96,68	63	57
10	110,63	58	59
11	102,96	96	95
12	73,8	80	75
13	99,6	92	97
14	148,7	91	91
15	135,3	146	150
16	202	116	139
17	248,8	143	145
18	169,6	131	115
19	169,5	116	126
20	169,7	161	162
21	137,9	141	112
22	112,6	163	160
23	68,9	154	146
24	117,3	149	150
25	95,6	146	167
26	34,3	109	107
27	60,2	120	124

Fuente: grupo de co-investigadores

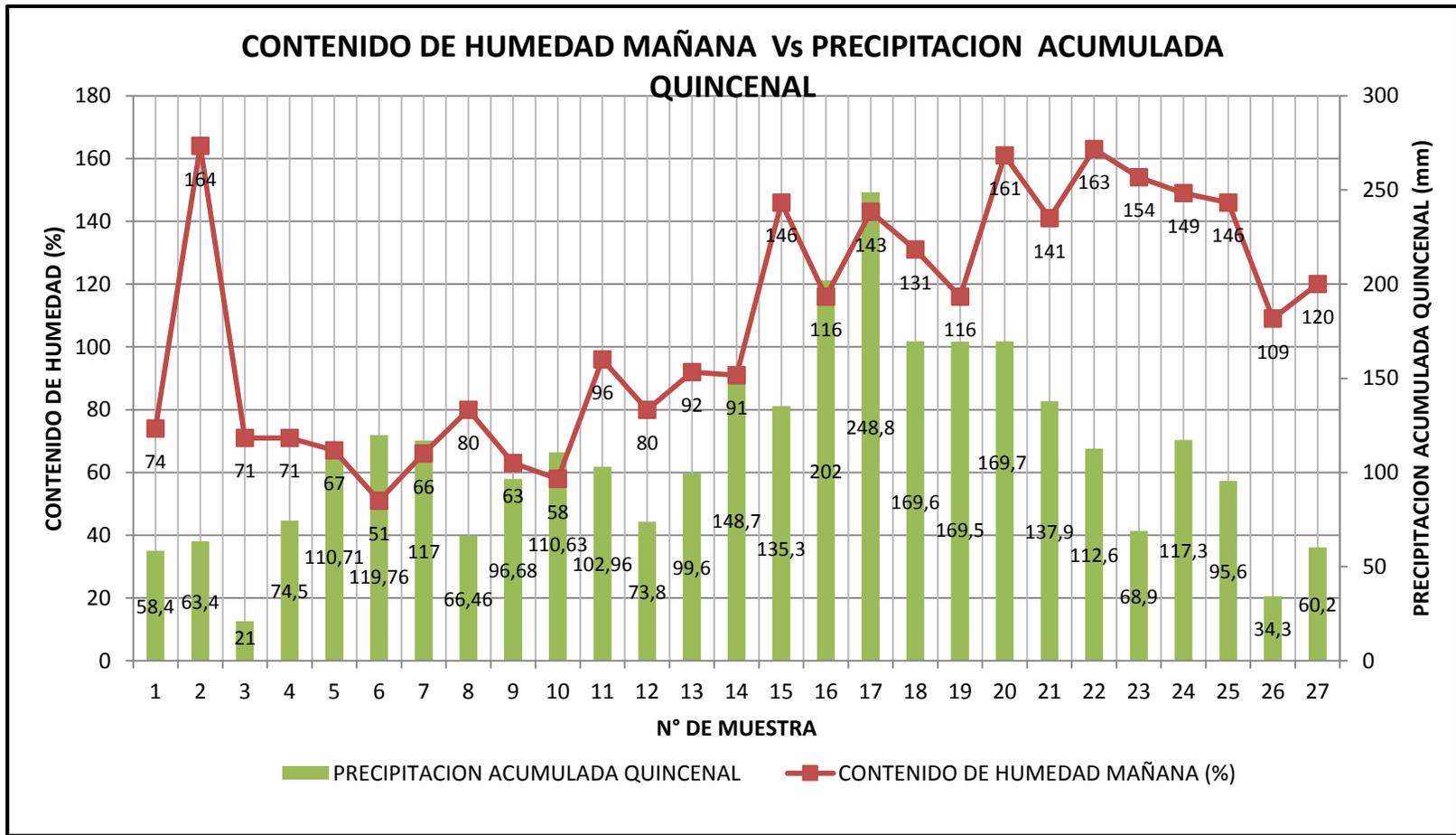


Figura 27. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad mañana para periodos cortos (6meses).

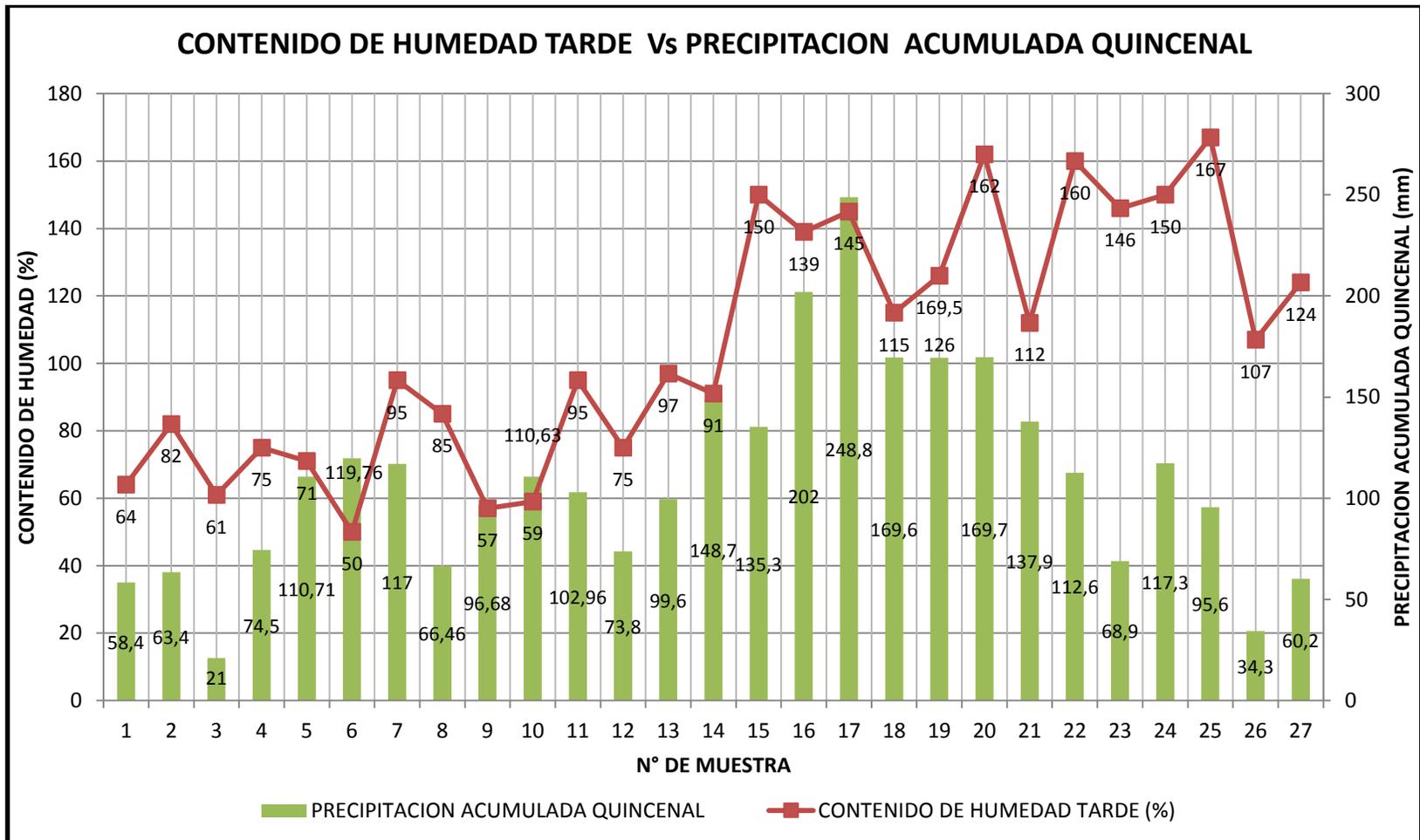


Figura 28. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad tarde para periodos cortos (6 meses)

8. 4. 1 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos largos (12 meses).

Tabla # 77. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA QUINCENAL	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	59,3	61,8	64
2	70,2	81,3	85,7
3	79,9	85,7	77,2
4	137,9	71,63	76,4
5	160	81	80,67
6	170	67	61,3
7	226,8	46	64,2
8	203,2	78,71	64
9	101,21	66,7	57
10	75	50,95	70,3
11	77,2	46,56	66,7
12	45,8	57,4	79
13	55,23	57,5	53
14	159	57	58
15	282,7	56	109,02
16	245,38	67	55,8
17	256,23	52	57,8
18	278,85	59	61,7
19	138,9	44,8	54
20	32,4	44,7	82,39

Fuente: grupo de co-investigadore

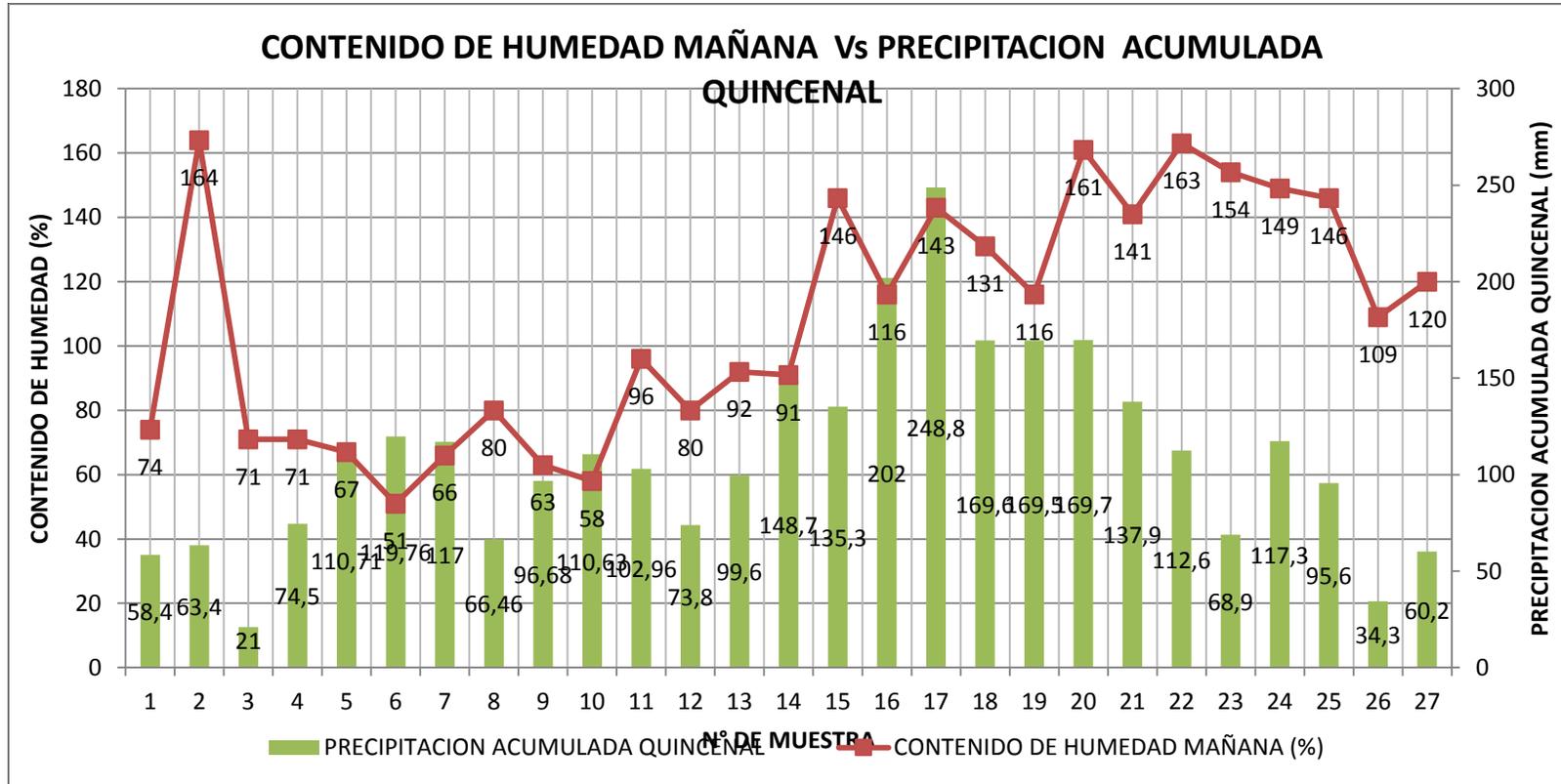


Figura 29 . Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad mañana para periodos largos (12 meses).

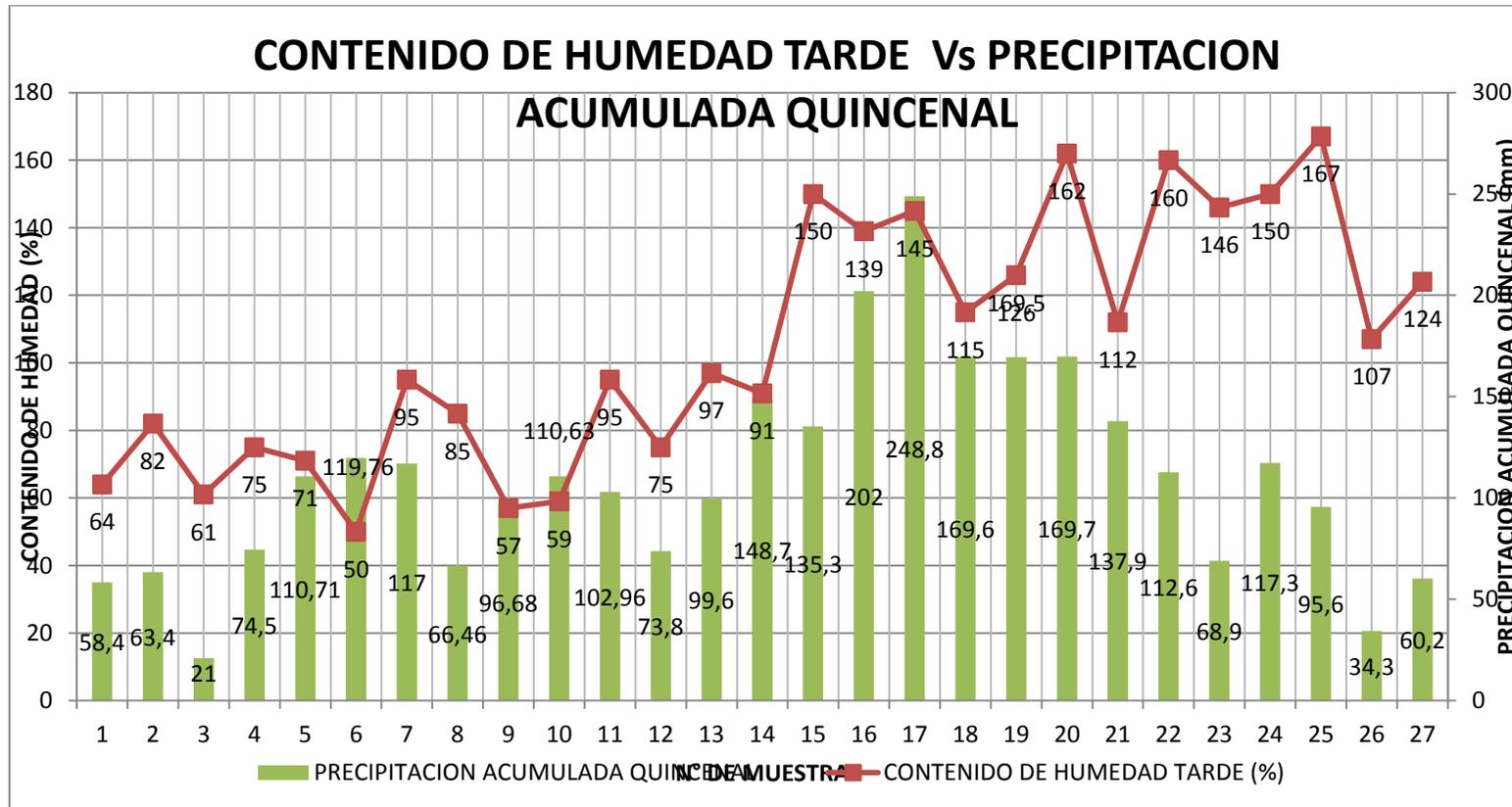


Figura 30 . Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad tarde para periodos largos (12 meses).

8. 4. 2 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos cortos (6 meses).

Tabla # 78. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	110,6	74	64
2	74,8	164	82
3	79	71	61
4	137,5	71	75
5	132,31	67	71
6	194,16	51	50
7	227,86	66	95
8	183,95	80	85
9	199,2	63	57
10	165,94	58	59
11	192,53	96	95
12	181,14	80	75
13	223,39	92	97
14	222,8	91	91
15	236,2	146	150
16	346,4	116	139
17	373	143	145
18	350	131	115
19	413,1	116	126
20	348,7	161	162
21	307,6	141	112
22	289,1	163	160
23	193,6	154	146
24	228,4	149	150
25	164,8	146	167
26	153,8	109	107
27	160,4	120	124

Fuente: grupo de co-investigadores

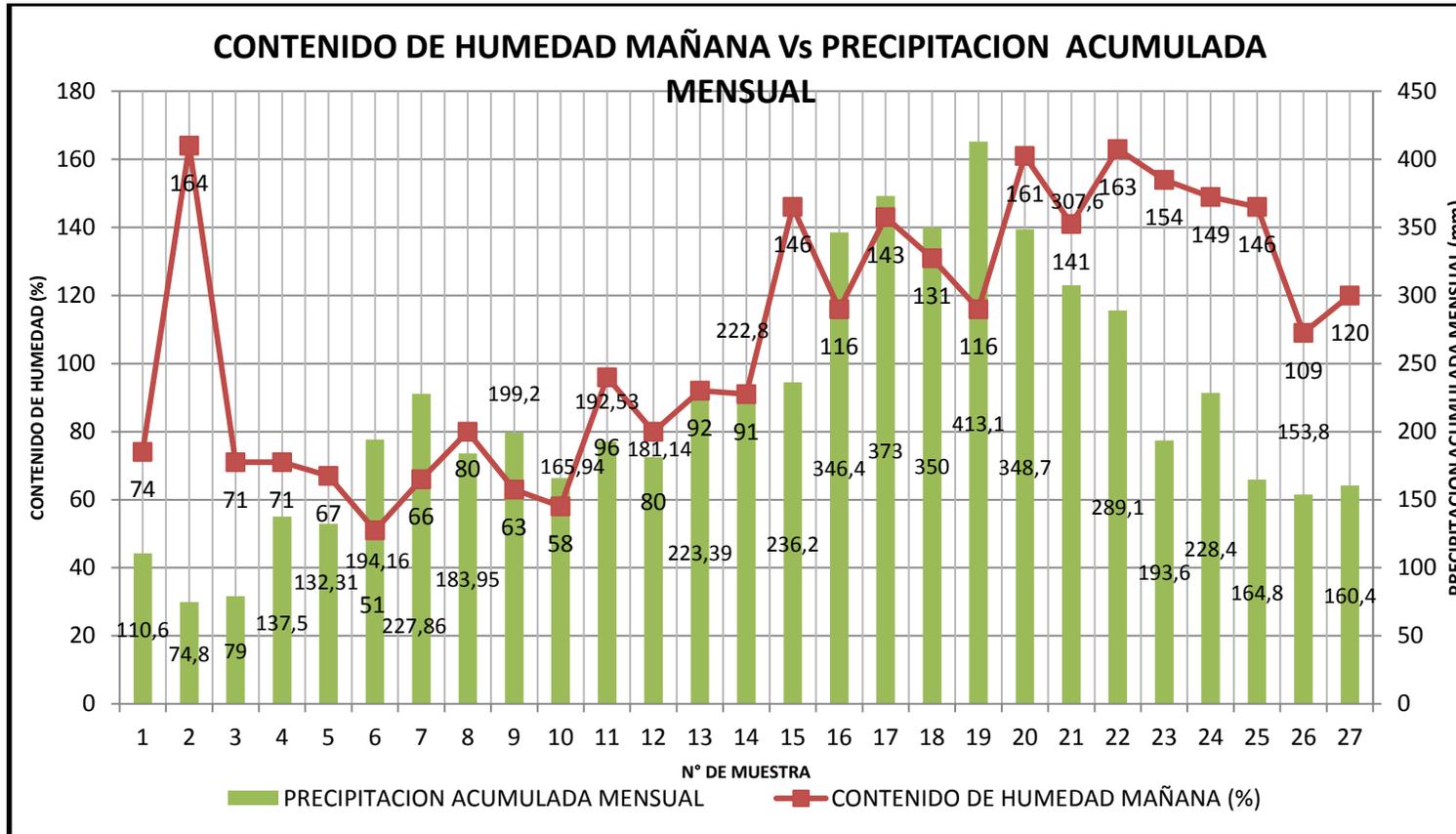


Figura 31. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humedad mañana para periodo corto (6meses).

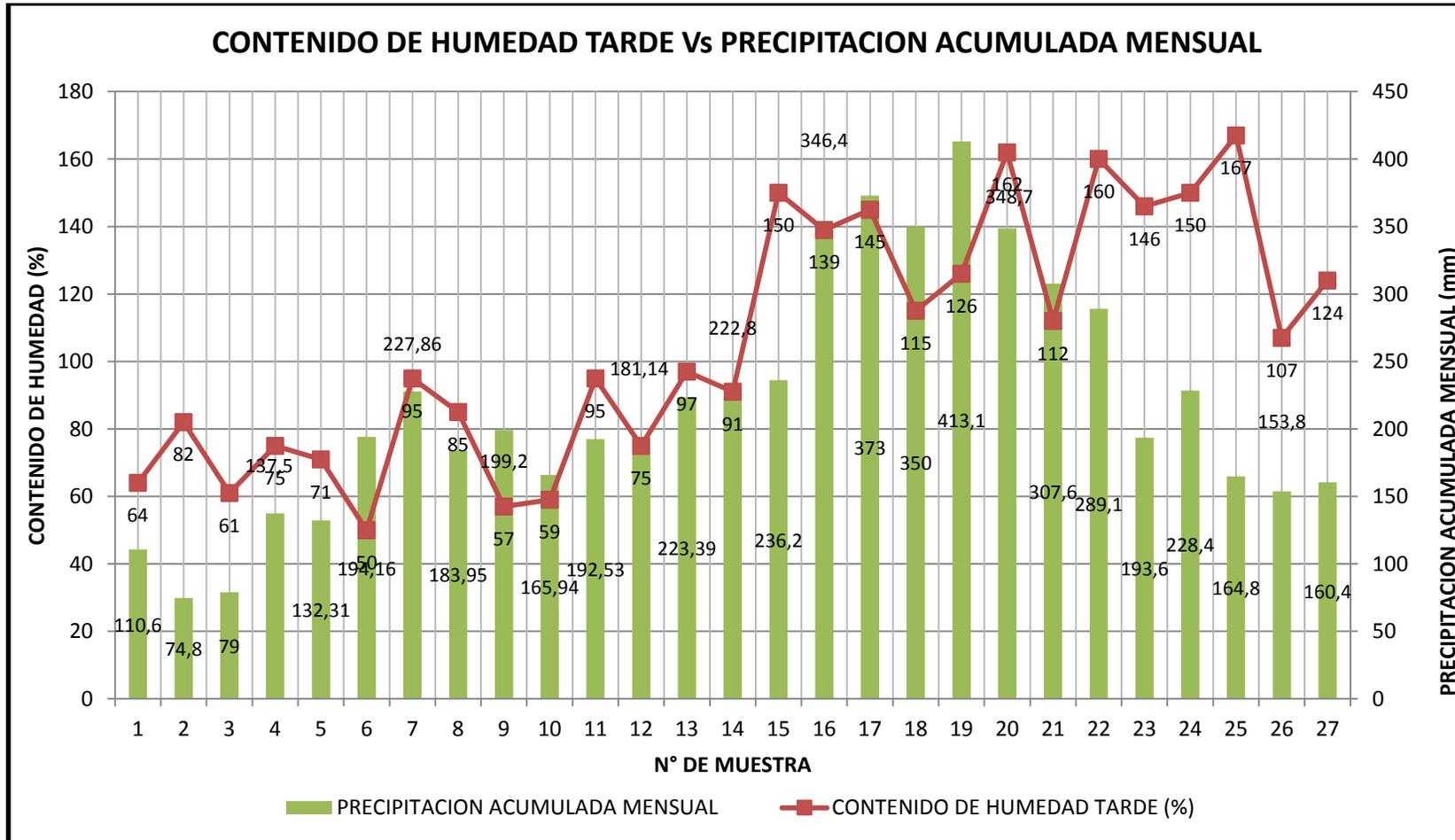


Figura 32. Correlaciones precipitacion acumulada mensual vs contenido de humedad tarde para periodos cortos (6 meses).

8. 4. 2 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos largos (12 meses).

Tabla # 79 . Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	71,5	65	59
2	92,8	90	88
3	162,6	106	50
4	188,5	51	75
5	211,5	71	87
6	307,9	125	57
7	358,1	87	95
8	354,6	63	57
9	310,81	66	59
10	260,41	108	59
11	161,21	90,3	93
12	121,61	83,2	97
13	132,43	57	97
14	204,8	96	91
15	317,7	98	139
16	424,1	127	139
17	518,1	92	145
18	507,23	90	115
19	395,13	70,4	126
20	293,75	74	162

Fuente: grupo de co-investigadores

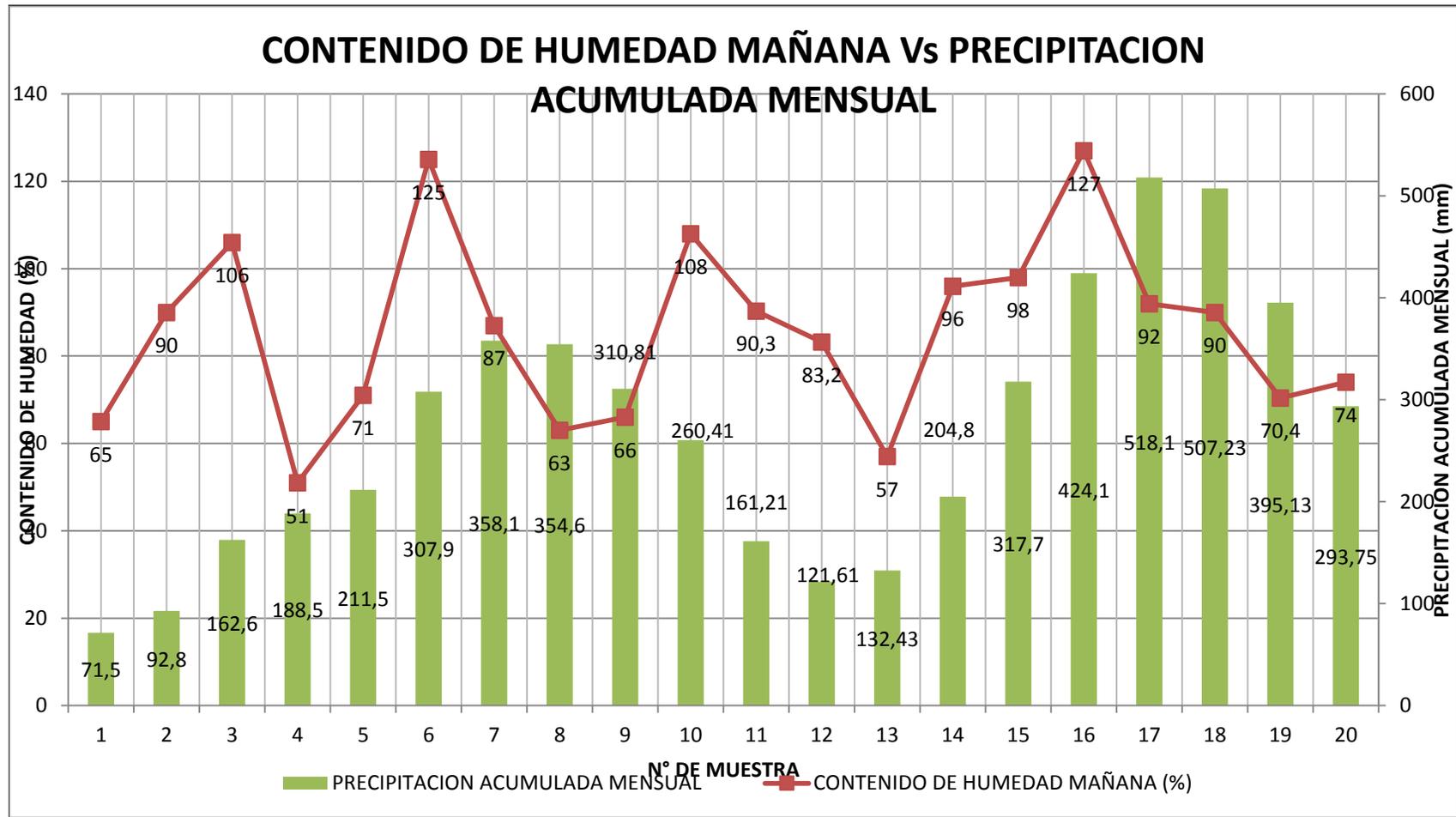


Figura 33. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humedad mañana para periodos largos (12 meses).

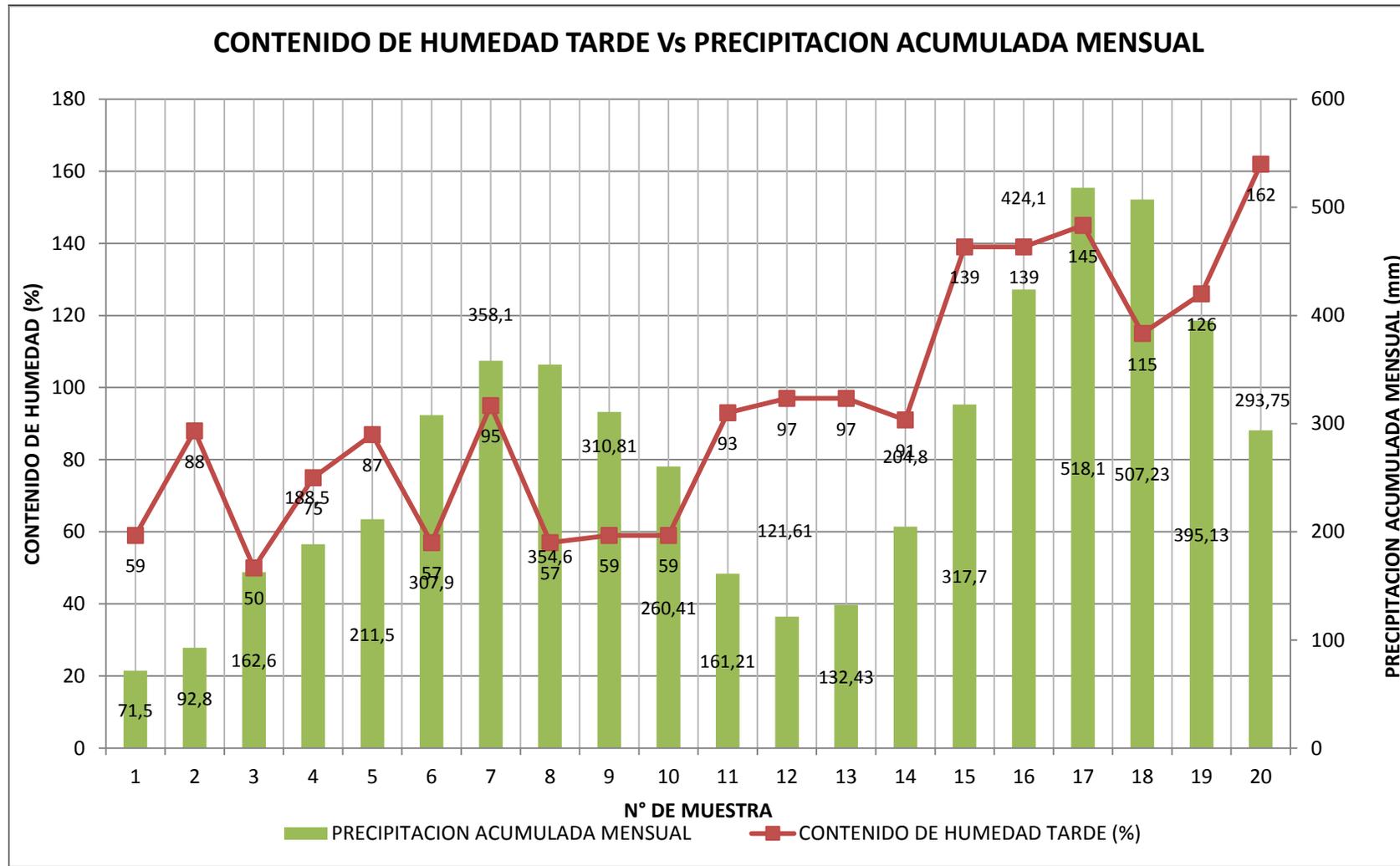


Figura 34. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humeda tarde para periodos largos (12 meses).

8. 4. 3 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos cortos (6 meses).

Tabla # 80. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA CUARENTA Y CINCO DIAS	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	129,2	74	64
2	140,6	164	82
3	134,4	71	61
4	149,1	71	75
5	189,31	67	71
6	262,16	51	50
7	260,86	66	95
8	260,95	80	85
9	307,53	63	57
10	281,38	58	59
11	297,58	96	95
12	236,44	80	75
13	292,13	92	97
14	318,44	91	91
15	353,65	146	150
16	420,2	116	139
17	459,9	143	145
18	494,4	131	115
19	544,2	116	126
20	522	161	162
21	588,6	141	112
22	448,7	163	160
23	365,5	154	146
24	404,9	149	150
25	288,9	146	167
26	262,4	109	107
27	242,8	120	124

Fuente: grupo de co-investigadores.

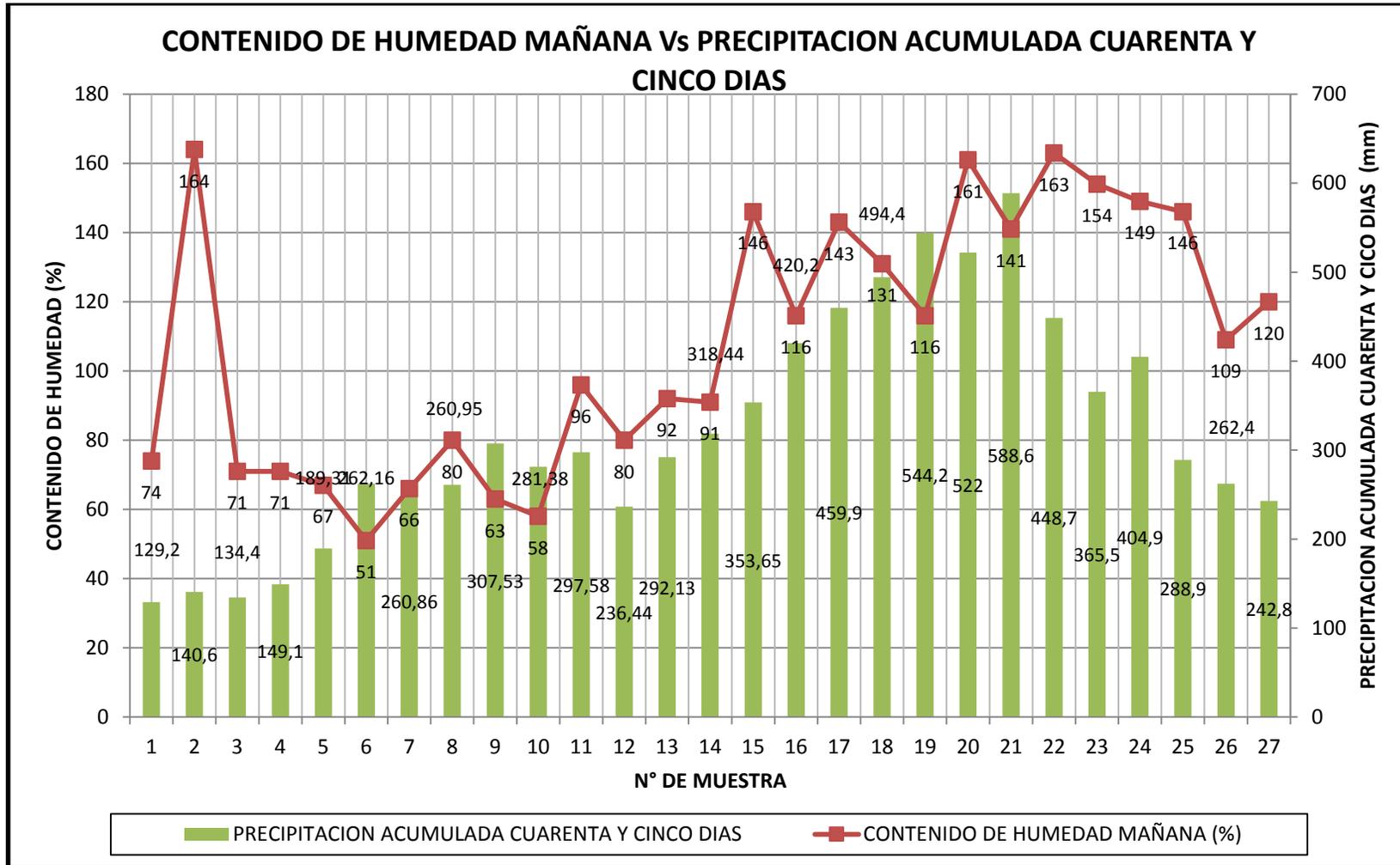


Figura 35. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana para periodos cortos (6 meses).

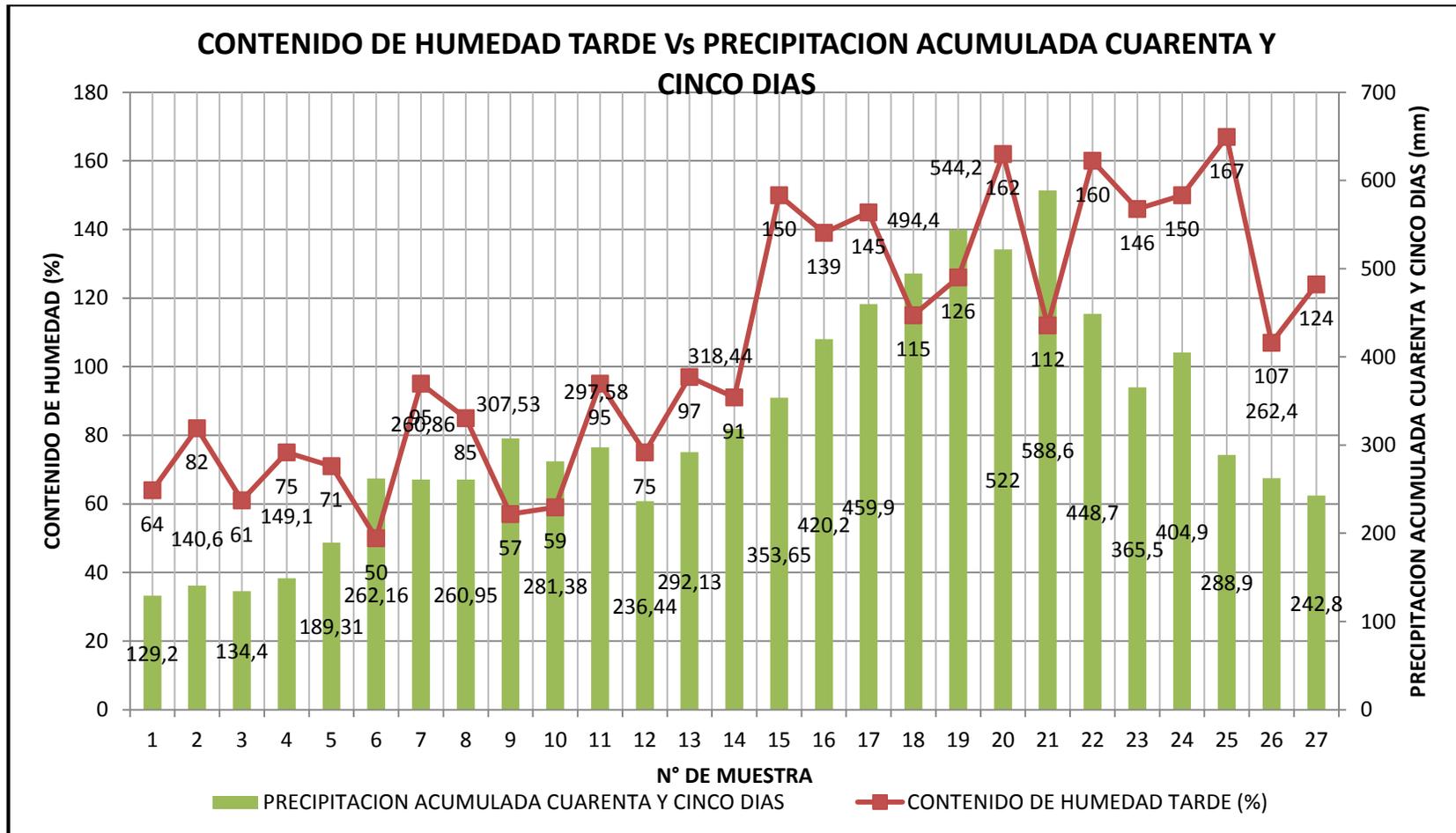


Figura 36. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad tarde para periodos cortos (6 meses).

8. 4. 3 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada para periodos largos (12 meses).

Tabla # 81 . Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA CUARENTA Y CINCO DIAS	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	171,2	65	59
2	163,9	90	88
3	171,8	106	50
4	230,7	51	75
5	293,9	71	87
6	358,5	125	57
7	438	87	95
8	492,5	63	57
9	461,11	66	59
10	430,41	108	59
11	388,01	90,3	93
12	318,61	83,2	97
13	216,44	57	97
14	280,61	96	91
15	394,3	98	139
16	469,9	127	139
17	573,33	92	145
18	666,23	90	115
19	657	70,4	126
20	519,91	74	162

Fuente: grupo de co-investigadores.

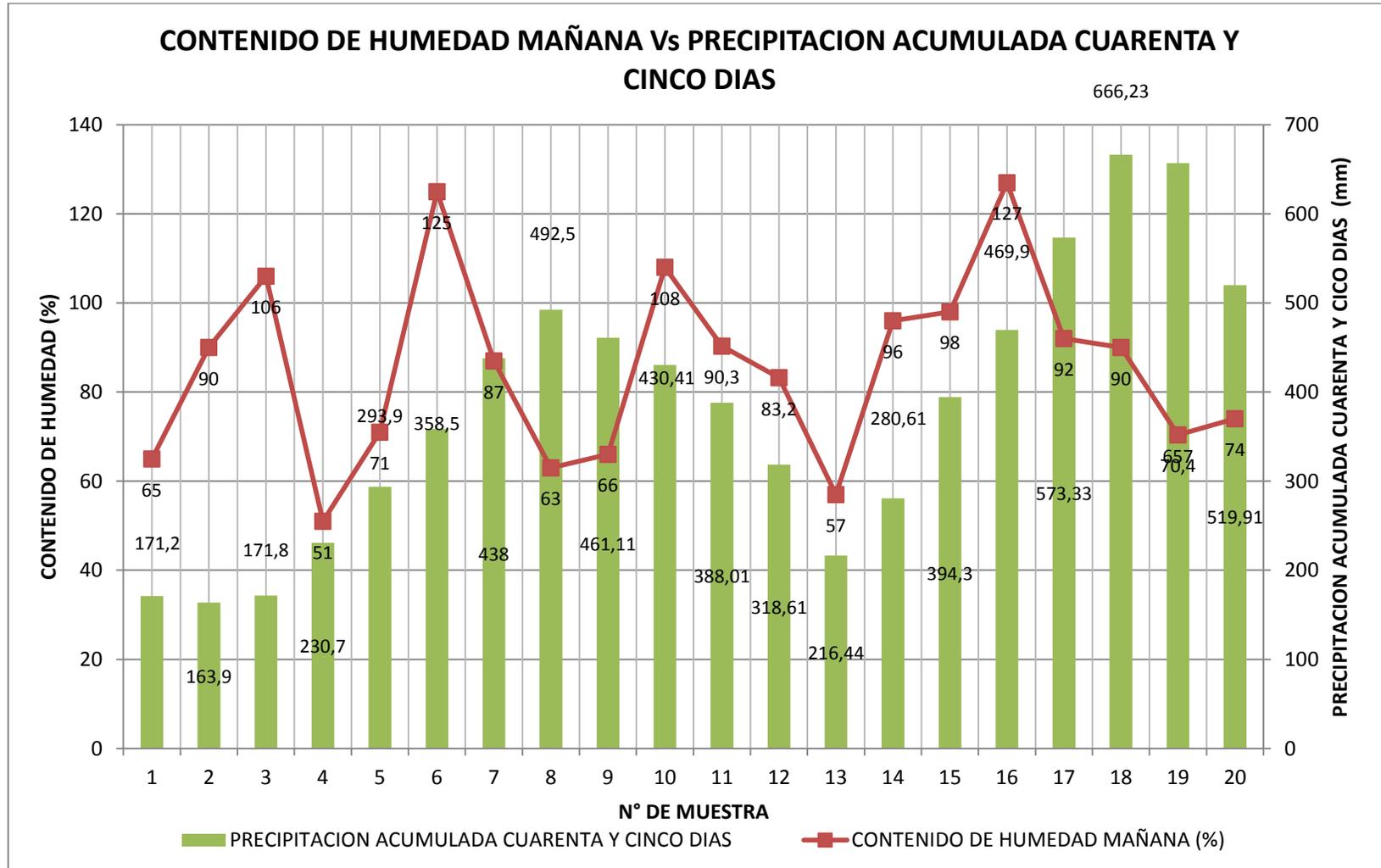


Figura 37 . Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana para periodos largos (12 meses).

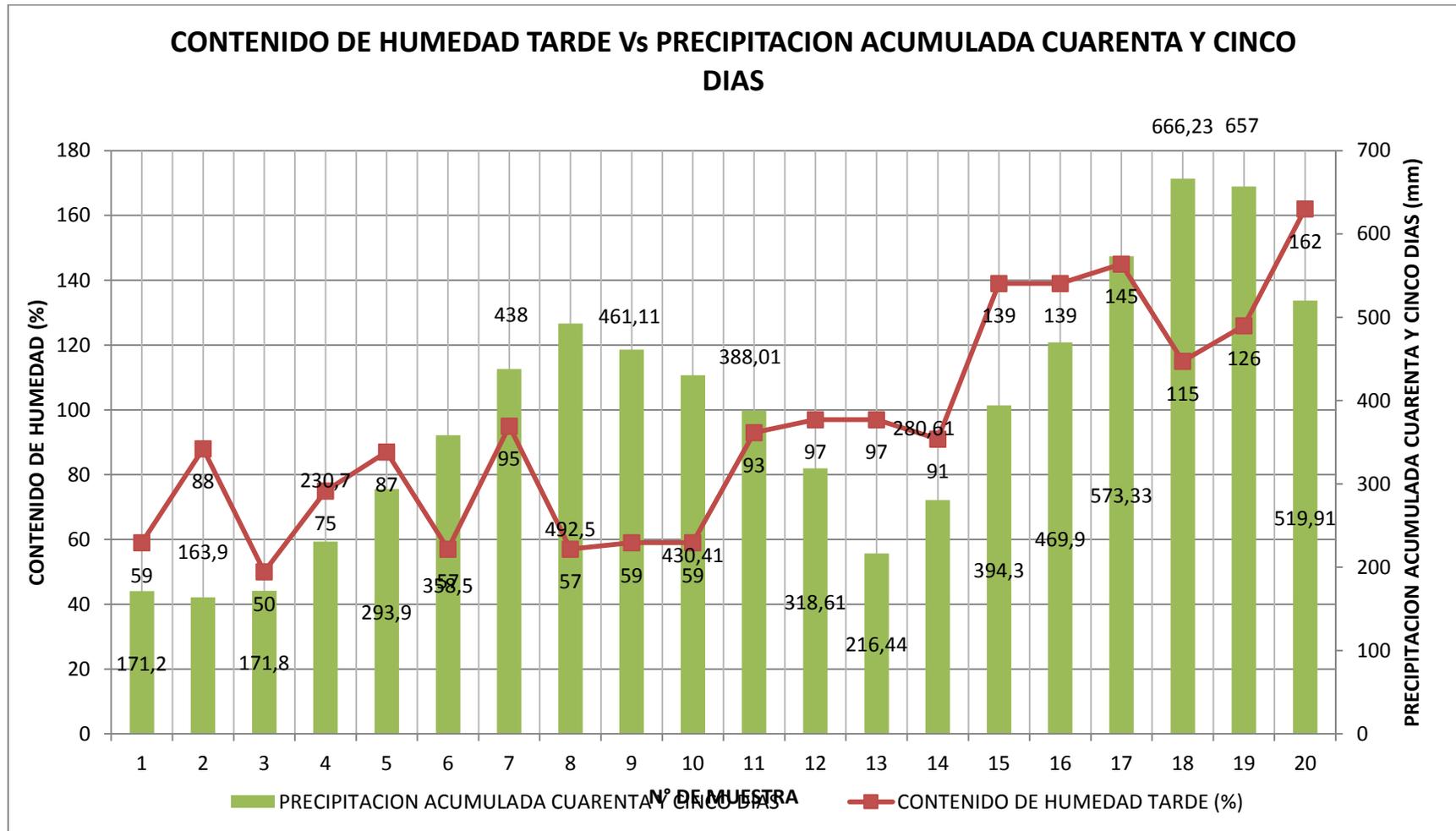


Figura 38 . Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana para periodos largos (12 meses).



Periodos cortos (6 meses).

Dado que los valores acumulados de lluvia quincenal están por debajo de 172 mm, se encontraron los menores porcentajes de contenido de humedad coincidente con la temporada seca.

No obstante en la segunda semana de muestreo se obtuvo un valor del 164 % de contenido de humedad siendo este el mayor contenido de humedad obtenido durante el proceso investigativo coincidiendo con un periodo bimodal seco, razón por la cual se infiere que en este valor se presentó un error, ya sea en el procedimiento de toma de muestreo o en la ejecución del proceso de laboratorio puesto que se considero un valor atípico.

Para las lluvias acumuladas mensuales los valores de contenido de humedad para los suelos ubicados en el parque metropolitano del café se encuentran por debajo del 90% y sus lluvias acumuladas por debajo de 300.3 mm mensual.

Con los datos a cuarenta y cinco días se obtuvieron valores de contenido de humedad entre rangos de 29,2 mm – 435 mm de lluvia acumulada, dichos valores se encuentran por debajo del 80% del contenido de humedad, para valores de 435 mm de lluvia acumulada a cuarenta y cinco días se encontraron los mayores valores de contenido de humedad, todas estas mayores a 116% valores que coinciden con lo esperado.



Periodos largos (12 meses).

Dado que los valores acumulados de lluvia quincenal están por debajo de 278,75 mm, se encontraron los menores porcentajes de contenido de humedad coincidente con la temporada menos lluviosa.

No obstante en la sexta semana de muestreo se obtuvo un valor del 167 % de contenido de humedad siendo este el mayor contenido de humedad obtenido durante el proceso investigativo coincidiendo con un periodo bimodal lluvioso, ya que en este periodo también se presentaron las mayores precipitaciones las cuales alcanzaron valores de hasta 588 mm.

Para las lluvias acumuladas mensuales los valores de contenido de humedad para los suelos ubicados en el parque metropolitano del café se encuentran por debajo del 162% y sus lluvias acumuladas por debajo de 395,13 mm mensual.

Con los datos a cuarenta y cinco días se obtuvieron valores de contenido de humedad entre rangos de 129,2 mm – 588 mm de lluvia acumulada, dichos valores se encuentran por debajo del 167% del contenido de humedad, para valores de 588 mm de lluvia acumulada a cuarenta y cinco días se encontraron los mayores valores de contenido de humedad, todas estas mayores a 50% valores que coinciden con lo esperado.

Tabla # 82. Tabla de datos lluvia acumulada quincenal, mensual y cuarenta y cinco días con contenido de humedad para periodos cortos (6 meses).

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA QUINCENAL	PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL	PRECIPITACION ACUMULADA CUARENTA Y CINCO DIAS	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	58,4	110,6	129,2	74	64
2	63,4	74,8	140,6	164	82
3	21	79	134,4	71	61
4	74,5	137,5	149,1	71	75
5	110,71	132,31	189,31	67	71
6	119,76	194,16	262,16	51	50
7	117	227,86	260,86	66	95
8	66,46	183,95	260,95	80	85
9	96,68	199,2	307,53	63	57
10	110,63	165,94	281,38	58	59
11	102,96	192,53	297,58	96	95
12	73,8	181,14	236,44	80	75
13	99,6	223,39	292,13	92	97
14	148,7	222,8	318,44	91	91
15	135,3	236,2	353,65	146	150
16	202	346,4	420,2	116	139
17	248,8	373	459,9	143	145
18	169,6	350	494,4	131	115
19	169,5	413,1	544,2	116	126
20	169,7	348,7	522	161	162
21	137,9	307,6	588,6	141	112
22	112,6	289,1	448,7	163	160
23	68,9	193,6	365,5	154	146
24	117,3	228,4	404,9	149	150
25	95,6	164,8	288,9	146	167
26	34,3	153,8	262,4	109	107
27	60,2	160,4	242,8	120	124

Fuente: grupo de co-investigadores.

Tabla #83 . Tabla de datos lluvia acumulada quincenal, mensual y cuarenta y cinco días con contenido de humedad para periodos largos (12 meses).

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA QUINCENAL	PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL	PRECIPITACION ACUMULADA CUARENTA Y CINCO DIAS	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	59,3	71,5	171,2	65	59
2	70,2	92,8	163,9	90	88
3	79,9	162,6	171,8	106	50
4	137,9	188,5	230,7	51	75
5	160	211,5	293,9	71	87
6	170	307,9	358,5	125	57
7	226,8	358,1	438	87	95
8	203,2	354,6	492,5	63	57
9	101,21	310,81	461,11	66	59
10	75	260,41	430,41	108	59
11	77,2	161,21	388,01	90,3	93
12	45,8	121,61	318,61	83,2	97
13	55,23	132,43	216,44	57	97
14	159	204,8	280,61	96	91
15	282,7	317,7	394,3	98	139
16	245,38	424,1	469,9	127	139
17	256,23	518,1	573,33	92	145
18	278,85	507,23	666,23	90	115
19	138,9	395,13	657	70,4	126
20	32,4	293,75	519,91	74	162

Fuente: grupo de co-investigadores.

Tabla # 84. Tabla de datos para hallar evapotranspiración periodos cortos (6 meses).

MUESTRA	FECHA	TEMPERATURA MINIMA [°C]	TEMPERATURA MAXIMA [°C]	TEMPERATURA MEDIA [°C]	RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE [mm/día]	EVAPOTRANSPIRACION [mm/día]	PRECIPITACIÓN DIARIA [mm]
1	2 de agosto de 2010	18,10	26,50	21,50	14,89	3,90	0,40
2	9 de agosto de 2010	17,90	27,40	21,70	14,89	4,17	0,40
3	16 de agosto de 2010	15,40	23,30	19,00	14,89	3,54	0,40
4	23 de agosto de 2010	17,20	25,30	20,80	14,89	3,76	0,50
5	30 de agosto de 2010	15,70	26,20	20,60	14,89	4,26	0,25
6	6 de septiembre de 2010	17,80	24,20	19,90	15,22	3,34	2,27
7	13 de septiembre de 2010	17,50	25,30	20,10	15,22	3,70	17,01
8	20 de septiembre de 2010	16,30	22,10	18,30	15,22	3,04	14,20
9	27 de septiembre de 2010	16,50	22,10	19,00	15,22	3,05	7,11
10	4 de octubre de 2010	16,70	21,60	18,90	14,93	2,79	4,30
11	11 de octubre de 2010	18,10	28,60	22,20	14,93	4,45	0,00
12	18 de octubre de 2010	16,70	23,50	19,70	14,93	3,36	11,40
13	25 de octubre de 2010	17,30	24,20	19,40	14,93	3,35	9,10
14	1 de noviembre de 2010	16,80	22,80	19,30	14,24	2,97	4,60
15	8 de noviembre de 2010	16,90	21,10	18,40	14,24	2,43	25,60
16	15 de noviembre de 2010	16,60	22,70	18,30	14,24	2,92	21,60
17	22 de noviembre de 2010	16,00	23,60	19,00	14,24	3,32	11,00
18	29 de noviembre de 2010	17,10	24,40	20,40	14,24	3,38	0,00
19	6 de diciembre de 2010	17,40	25,80	20,90	13,83	3,57	2,00
20	9 de diciembre de 2010	17,70	24,90	20,10	13,83	3,23	15,50
21	13 de diciembre de 2010	16,80	22,30	18,60	13,83	2,71	22,40
22	20 de diciembre de 2010	16,30	22,10	18,30	13,83	2,76	13,20
23	27 de diciembre de 2010	17,30	25,70	20,40	13,83	3,52	4,30
24	3 de enero de 2011	15,80	24,90	20,30	14,12	3,73	12,70
25	10 de enero de 2011	17,80	24,60	20,60	14,12	3,25	0,30
26	17 de enero de 2011	17,20	26,60	21,30	14,12	3,89	0,00
27	24 de enero de 2011	17,60	27,50	21,60	14,12	4,02	0,00
28	25 de enero de 2011	17,80	27,30	21,80	14,12	3,96	0,00
29	31 de enero de 2011	16,80	26,70	21,30	14,12	3,99	0,30
30	7 de febrero de 2011	16,60	20,40	18,60	14,85	2,42	17,00

Fuente: grupo de co-investigadores.

Correlaciones obtenidas con las variables climatológicas precipitación Vs evapotranspiración periodo (6 meses).

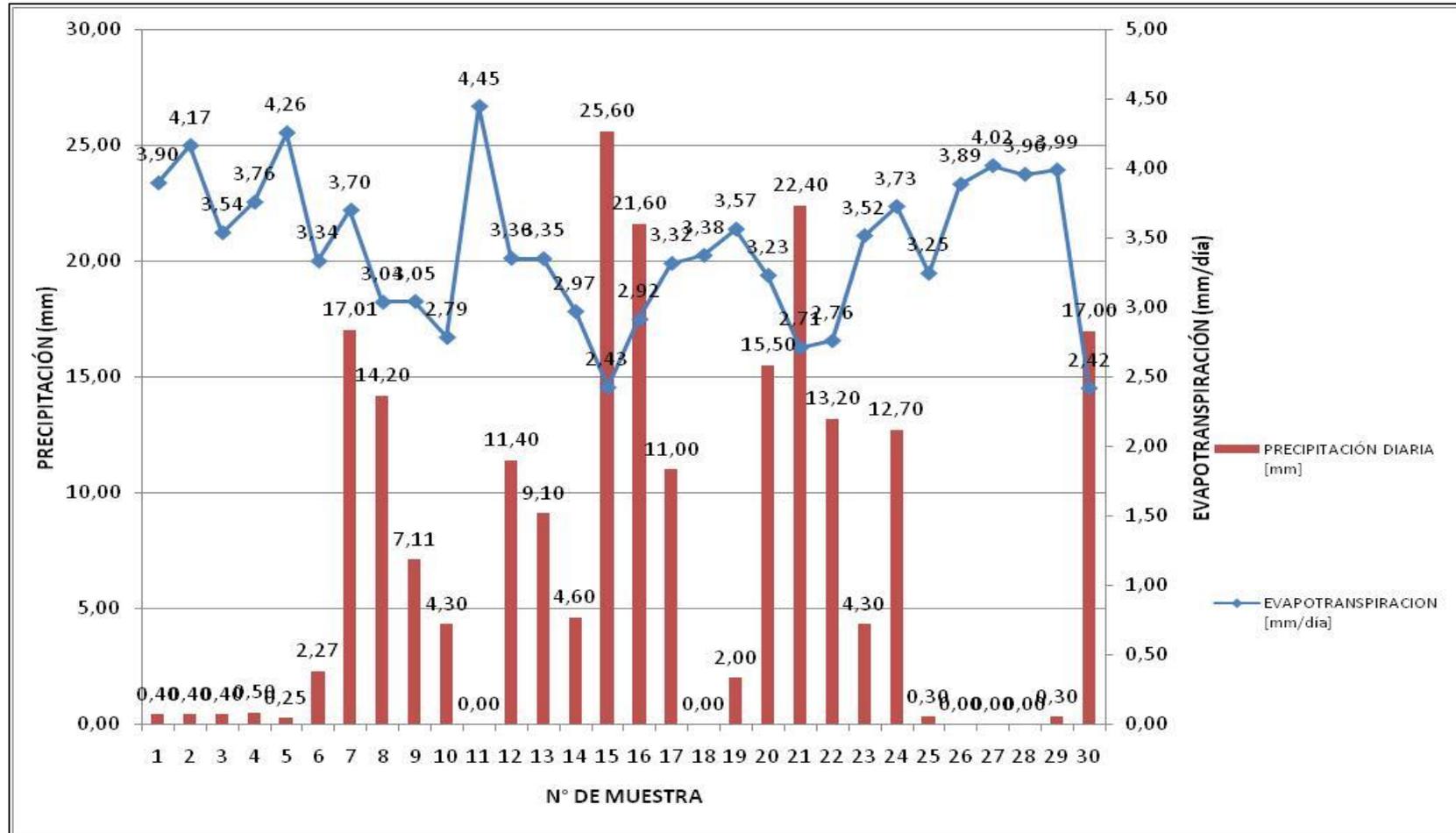


Figura 39. Correlaciones precipitación Vs evapotranspiración.

De acuerdo con la grafica anterior se puede concluir que la evapotranspiración está directamente relacionada con la precipitación diaria, dado que, los valores de evapotranspiración aumenta en los días cuya precipitación es baja. Así mismo cabe resaltar que una variable intrínseca a dicha relación es la temperatura, debido que a mayor temperatura mayor será el resultado de la evapotranspiración y por consiguiente la precipitación para este día deberá ser baja.

Tabla # 85 . Tabla de datos para hallar evapotranspiración periodo 12 meses.

MUESTRA	FECHA	TEMPERATURA MINIMA [°C]	TEMPERATURA MAXIMA [°C]	TEMPERATURA MEDIA [°C]	RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE [mm/día]	EVAPOTRANSPIRACION [mm/día]	PRECIPITACIÓN DIARIA [mm]
1	02/08/2010	18.10	26.50	21.50	14.89	3.90	0.40
2	09/08/2010	17.90	27.40	21.70	14.89	4.17	0.40
3	16/08/2010	15.40	23.30	19.00	14.89	3.54	0.40
4	23/08/2010	17.20	25.30	20.80	14.89	3.76	0.50
5	30/08/2010	15.70	26.20	20.60	14.89	4.26	0.25
6	06/09/2010	17.80	24.20	19.90	15.22	3.34	2.27
7	13/09/2010	17.50	25.30	20.10	15.22	3.70	17.01
8	20/09/2010	16.30	22.10	18.30	15.22	3.04	14.20
9	27/09/2010	16.50	22.10	19.00	15.22	3.05	7.11
10	04/10/2010	16.70	21.60	18.90	14.93	2.79	4.30
11	11/10/2010	18.10	28.60	22.20	14.93	4.45	0.00
12	18/10/2010	16.70	23.50	19.70	14.93	3.36	11.40
13	25/10/2010	17.30	24.20	19.40	14.93	3.35	9.10
14	01/11/2010	16.80	22.80	19.30	14.24	2.97	4.60
15	08/11/2010	16.90	21.10	18.40	14.24	2.43	25.60
16	15/11/2010	16.60	22.70	18.30	14.24	2.92	21.60
17	22/11/2010	16.00	23.60	19.00	14.24	3.32	11.00
18	29/11/2010	17.10	24.40	20.40	14.24	3.38	0.00
19	06/12/2010	17.40	25.80	20.90	13.83	3.57	2.00
20	09/12/2010	17.70	24.90	20.10	13.83	3.23	15.50
21	13/12/2010	16.80	22.30	18.60	13.83	2.71	22.40
22	20/12/2010	16.30	22.10	18.30	13.83	2.76	13.20
23	27/12/2010	17.30	25.70	20.40	13.83	3.52	4.30
24	03/01/2011	15.80	24.90	20.30	14.12	3.73	12.70
25	10/01/2011	17.80	24.60	20.60	14.12	3.25	0.30
26	17/01/2011	17.20	26.60	21.30	14.12	3.89	0.00
27	24/01/2011	17.60	27.50	21.60	14.12	4.02	0.00
28	25/01/2011	17.80	27.30	21.80	14.12	3.96	0.00
29	31/01/2011	16.80	26.70	21.30	14.12	3.99	0.30
30	07/02/2011	16.60	20.40	18.60	14.85	2.42	17.00

Fuente: grupo de co-investigadores.

Correlaciones obtenidas con las variables climatológicas precipitación Vs evapotranspiración periodo 12 meses.

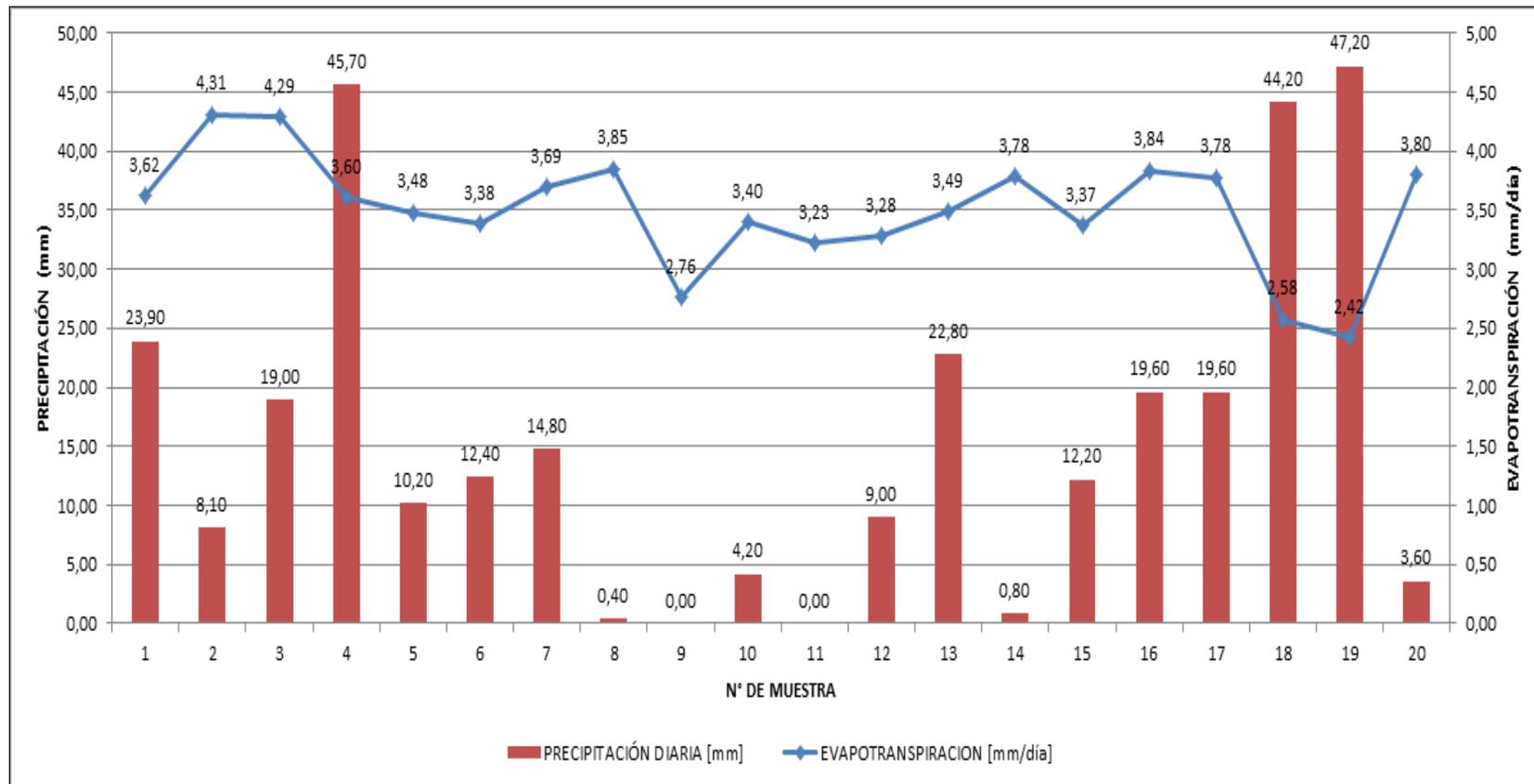


Figura 40 . Correlaciones precipitación Vs evapotranspiración.

De acuerdo con la grafica anterior se puede concluir que la evapotranspiración está directamente relacionada con la precipitación diaria, dado que, los valores de evapotranspiración aumenta en los días cuya precipitación es baja. Así mismo cabe resaltar que una variable intrínseca a dicha relación es la temperatura, debido que a mayor temperatura mayor será el resultado de la evapotranspiración y por consiguiente la precipitación para este día deberá ser baja.

8. 4. 4 Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación para periodos cortos (6 meses).

El dato correspondiente a la Gs (gravedad específica) se obtuvo según la norma de INVIAS-128.

Tabla # 86. Datos obtenidos de saturación, contenido de humedad y precipitación.

FECHA	PROFUNDIDAD [m]	Gs	Vs [cm ³]	γ_w [g/cm ³]	γ_d [g/cm ³]	$W_s = G_s V_s \gamma_w$	$V_t = W_s / \gamma_d$	$V_v = V_t - V_s$	$S(100\%) = (1/\gamma_d) - (1/G_s \gamma_w)$	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PRECIPITACIÓN (mm)
27 de septiembre de 2010	4,0	2,508	1,00	1,00	1,02	2,508175732	2,46	1,46	58,17	53,85	7,11
25 de octubre de 2010	3,0	2,508	1,00	1,00	1,00	2,508175732	2,51	1,51	60,13	55,04	9,10
25 de enero de 2011	3,0	2,508	1,00	1,00	0,91	2,508175732	2,76	1,76	70,02	71,70	0,00
7 de febrero de 2011	3,0	2,508	1,00	1,00	0,83	2,508175732	3,02	2,02	80,61	89,12	17,00

Fuente: grupo de co-investigadores.

Relaciones existentes entre contenido de humedad – grado de saturación Vs precipitación para periodos cortos (6 meses).

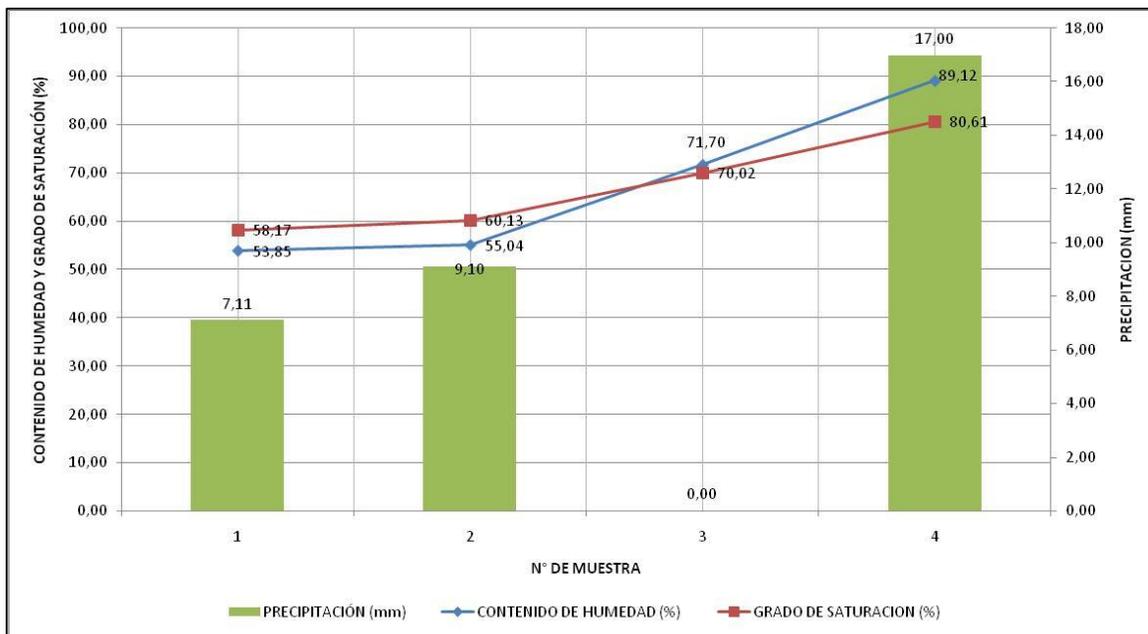


Figura 41. Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación.

De la grafica anterior podemos observar que el suelo del talud del parque metropolitano del café presenta un alto contenido de humedad; el cual, se puede relacionar directamente con el grado de saturación, debido a que ambos mantienen una tendencia creciente muy cercana en cuanto a sus valores. Así mismo, cabe resaltar que la precipitación diaria tiene incidencia directa sobre dichas variables, debido a que un cambio brusco en la misma: pasar de una precipitación en aumento a no haber precipitación, significa un mayor del contenido de humedad y una disminución del grado de saturación.

8. 4. 4 Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación para periodos largos (12 meses).

El dato correspondiente a la Gs (gravedad específica) se obtuvo según la norma de INVIAS-128.

Tabla # 87. Datos obtenidos de saturación, contenido de humedad y precipitación.

FECHA	PROFUNDIDAD [m]	Gs	Vs [cm ³]	γ _w [g/cm ³]	γ _d [g/cm ³]	Ws = Gs Vs γ _w	Vt = Ws / γ _d	Vv = Vt - Vs	S(100%) = (1/γ _d) · (1/Gs γ _w)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PRECIPITACIÓN (mm)
16 de marzo de 2011	4,5	2,508	1,00	1,00	0,9	2,508175732	2,79	1,79	71,24	39,90	8,1
06 de abril de 2011	4,5	2,508	1,00	1,00	0,56	2,508175732	4,48	3,48	138,70	79,00	10,2
04 de mayo de 2011	4,5	2,508	1,00	1,00	0,59	2,508175732	4,25	3,25	129,62	98,00	0
25 de mayo de 2011	4,5	2,508	1,00	1,00	0,67	2,508175732	3,74	2,74	109,38	127,00	9
15 de junio de 2011	4,5	2,508	1,00	1,00	0,85	2,508175732	2,95	1,95	77,78	74,00	12,2
20 de julio de 2011	4,5	2,508	1,00	1,00	0,65	2,508175732	3,86	2,86	113,98	91,60	3,6

Fuente: grupo de co-investigadores.

Relaciones existentes entre contenido de humedad – grado de saturación Vs precipitación para periodos largos (12 meses).

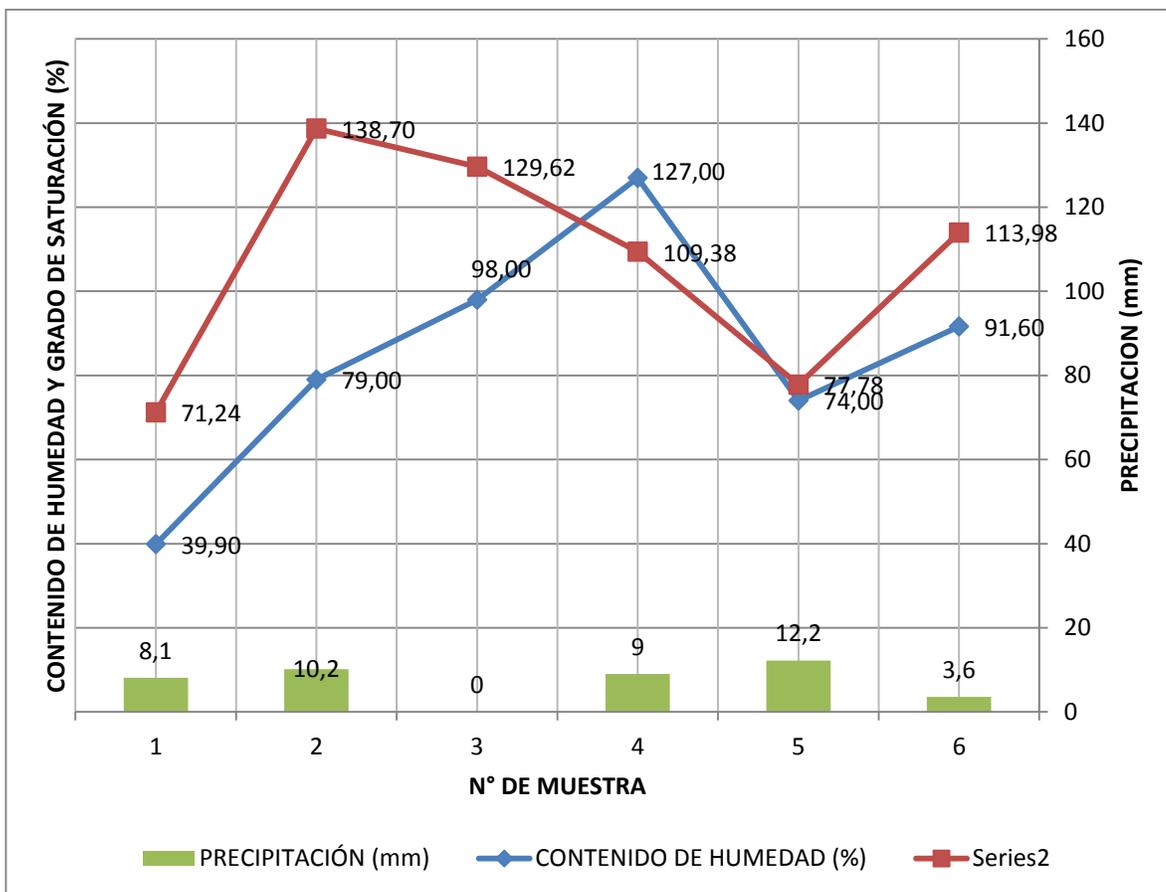


Figura 42 . Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación.

De la grafica anterior podemos observar que el suelo del talud del parque metropolitano del café presenta un alto contenido de humedad; el cual, se puede relacionar directamente con el grado de saturación, debido a que ambos mantienen una tendencia creciente muy cercana en cuanto a sus valores. Así mismo, cabe resaltar que la precipitación diaria tiene incidencia directa sobre dichas variables, debido a que un cambio brusco en la misma: pasar de una precipitación en aumento a no haber precipitación, significa un mayor del contenido de humedad y una disminución del grado de saturación.



8. 5 RESULTADO ANALISIS DE ESTABILIDAD (PC-STABLE)

Para la evaluación de la estabilidad del talud del PARQUE METROPOLITANO DEL CAFE, 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 sollicitaciones sísmicas sobre los materiales, a partir de los criterios de la NSR-10 y los efectos locales de amplificación (microzonificación sísmica de Pereira).

- Potenciales efectos combinados de lluvias y sismo, sobre la estabilidad de los terrenos.

8. 5. 1 Estimación de los parámetros mecánicos del suelo

Tabla 88. Datos para realizar la prueba en el programa PC-STABLE.

Sondeo 1

	TIPO DE MATERIAL	PROFUNDIDA D (m)	PARÁMETROS FÍSICO MECÁNICOS			
			γ_d (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	C (Kpa)	ϕ
SONDEO 1 (25 – OCTUBRE- 2010)	Suelo residual de cenizas volcánicas	4 mts	9.8	15.2	48	26.7

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 89. Datos para realizar la prueba en el programa PC-STABLE.

Sondeo 2

	TIPO DE MATERIAL	PROFUNDIDA D (m)	PARÁMETROS FÍSICO MECÁNICOS			
			γ_d (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	C (Kpa)	ϕ
SONDEO 2 (22 – FEBRERO- 2011)	Suelo residual de cenizas volcánicas	4 mts	9.8	15.3	40.2	26.7

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 Pereira, para la zona 2, cuyos valores asumidos fueron 0,25 y 0,40 respectivamente.

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

8. 5. 2 Interpretación de resultados de Pc-Stable.

Tabla 90 . Resultado factor de seguridad sondeo-1

SONDEO 1 (25 – OCTUBRE- 2010)	TIPO DE ANÁLISIS						
	ESTÁTICO	SEUDO ESTÁTICO					
		Lluvia (50%)	Lluvia (100%)	Sismo (0,25)	Sismo (0,40)	Lluvia (50%) + Sismo (0,40)	Lluvia (100%) + Sismo (0,40)
F.S.	7.08	3.59	3.07	4.71	3.89	1.91	1.65

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 91. Resultado factor de seguridad sondeo-2

SONDEO 2 (22 – FEBRERO- 2011)	TIPO DE ANÁLISIS						
	ESTÁTICO	SEUDO ESTÁTICO					
		Lluvia	Lluvia	Sismo	Sismo	Lluvia (50%) +	Lluvia (100%) +

		(50%)	(100%)	(0,25)	(0,40)	Sismo (0,40)	Sismo (0,40)
F.S.	7.36	3.42	2.92	6.02	5.51	2.41	1.94

Fuente: Grupo de co-investigadores

8. 5. 3 Resultados del software Pc-Stable para fallas irregulares.

Sondeo 1

Análisis seudo estático.

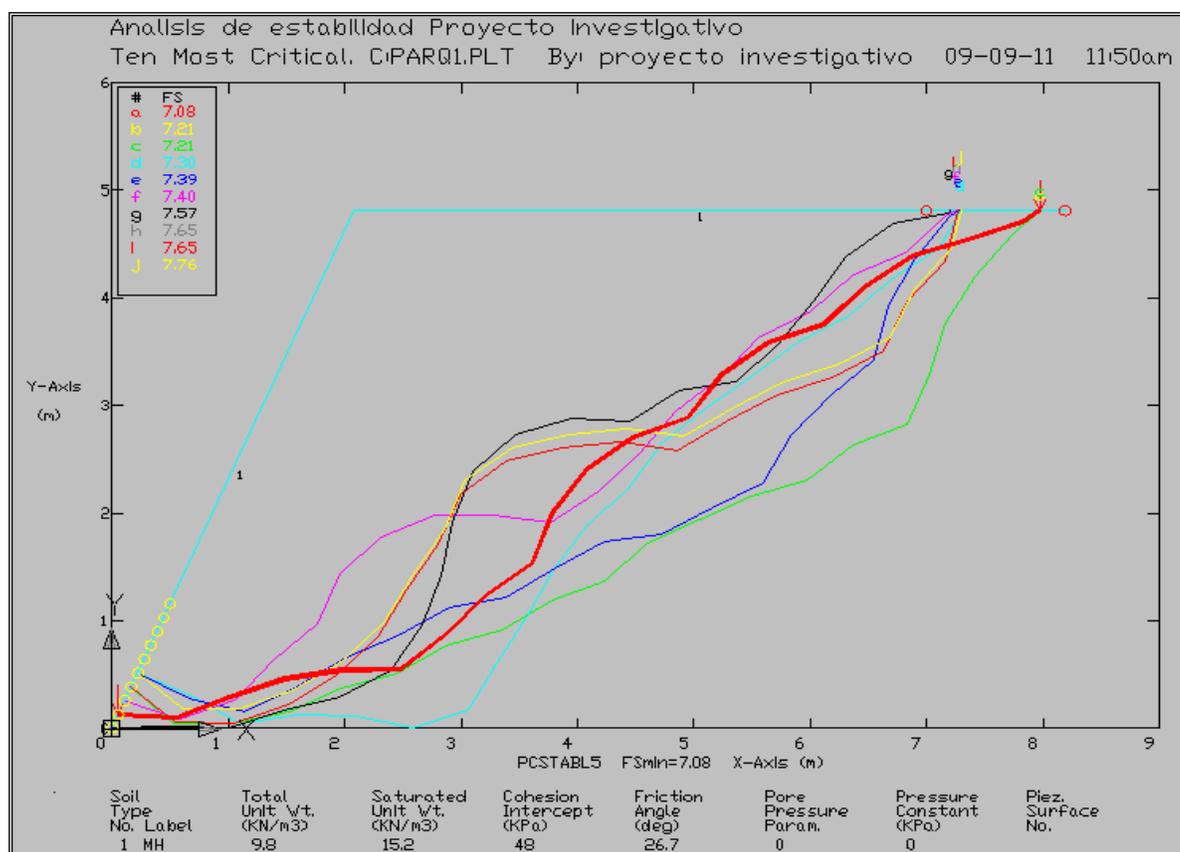


Figura 43. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales.

Realizada la corrida de estabilidad mediante el software PC-STABLE utilizando el método de análisis JANBU, para fallas irregulares, en condiciones seudo estático,

se evidencia que el factor de seguridad para esta es de 7.08, lo que determina que el factor de seguridad, dado las condiciones normales del talud ubicado en el parque metropolitano del café es bastante seguro, su valor está por encima de un Factor de seguridad de 2.

Combinación, para suelo saturado al 100% + sismos 0.40.

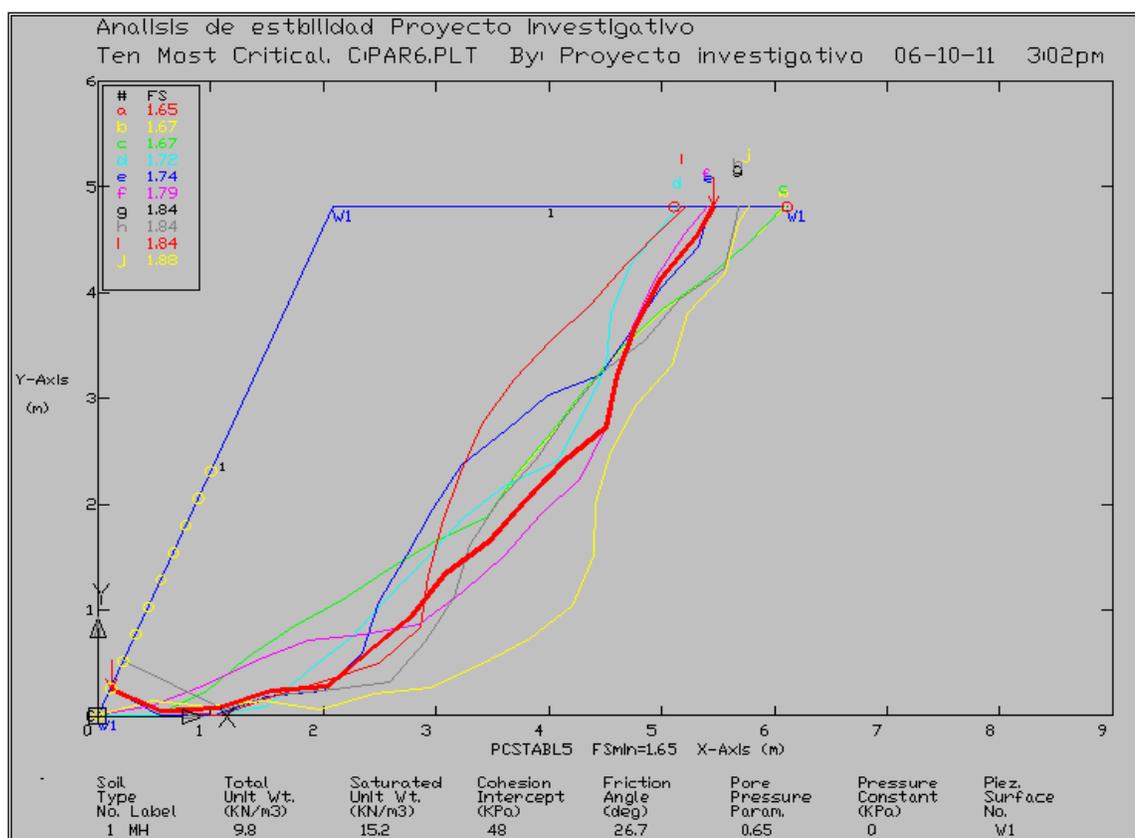


Figura 44. Resultado de la prueba estática bajo condiciones críticas.

Realizada la corrida de estabilidad mediante el software PC-STABLE utilizando el método de análisis JANBU, para fallas irregulares, en condiciones dinámicas, se encontró que el factor de seguridad para esta es de 1.65, en condiciones de lluvia al 100% y sismo de 0,40 lo que determina que el factor de seguridad, dado las

condiciones críticas del talud ubicado en el parque metropolitano del café es bastante aceptable, su valor está por encima de un Factor de seguridad de 1.

Sondeo 2

Análisis seudo estático.

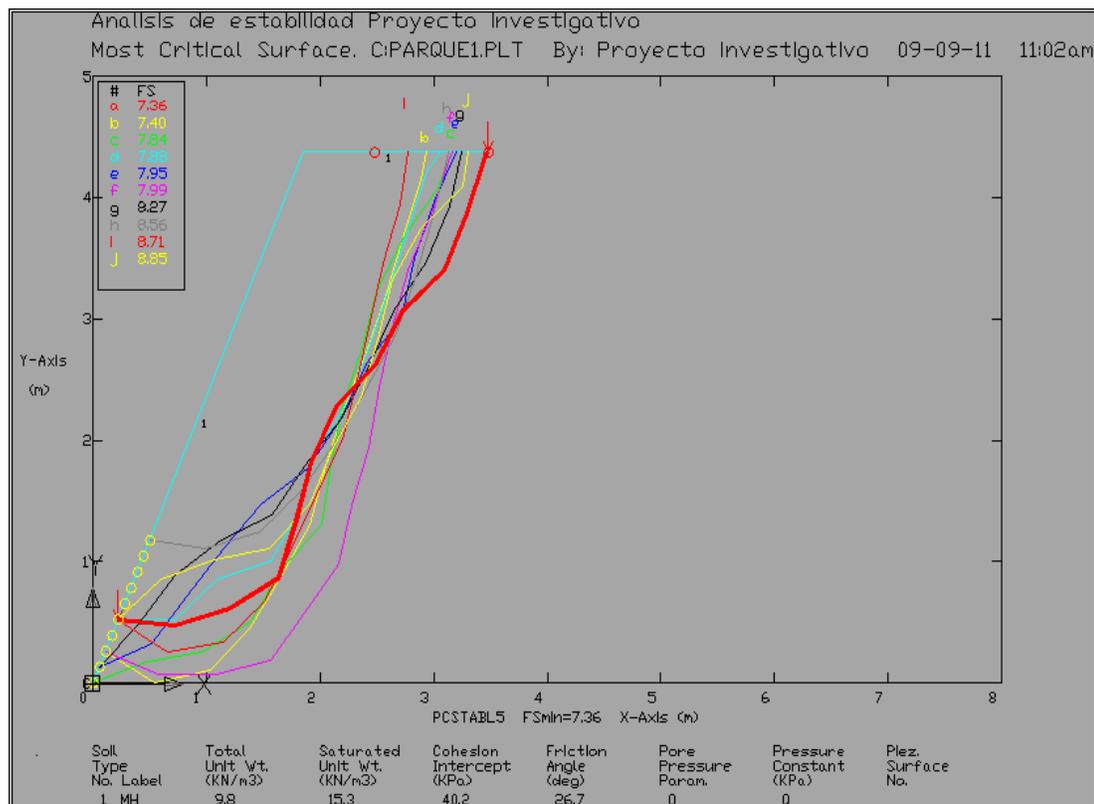


Figura 45. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales sondeo 2.

Realizada la corrida de estabilidad mediante el software PC-STABLE utilizando el método de análisis JANBU, para fallas irregulares, en condiciones seudo estáticas,

se evidencia que el factor de seguridad para esta es de 7.36, por lo que se determina que el factor de seguridad, dado las condiciones normales del talud ubicado en el parque metropolitano del café es bastante seguro, su valor se encuentra por encima de un Factor de seguridad de 2.

Combinación suelo saturado al 100% + sismos 0.40.

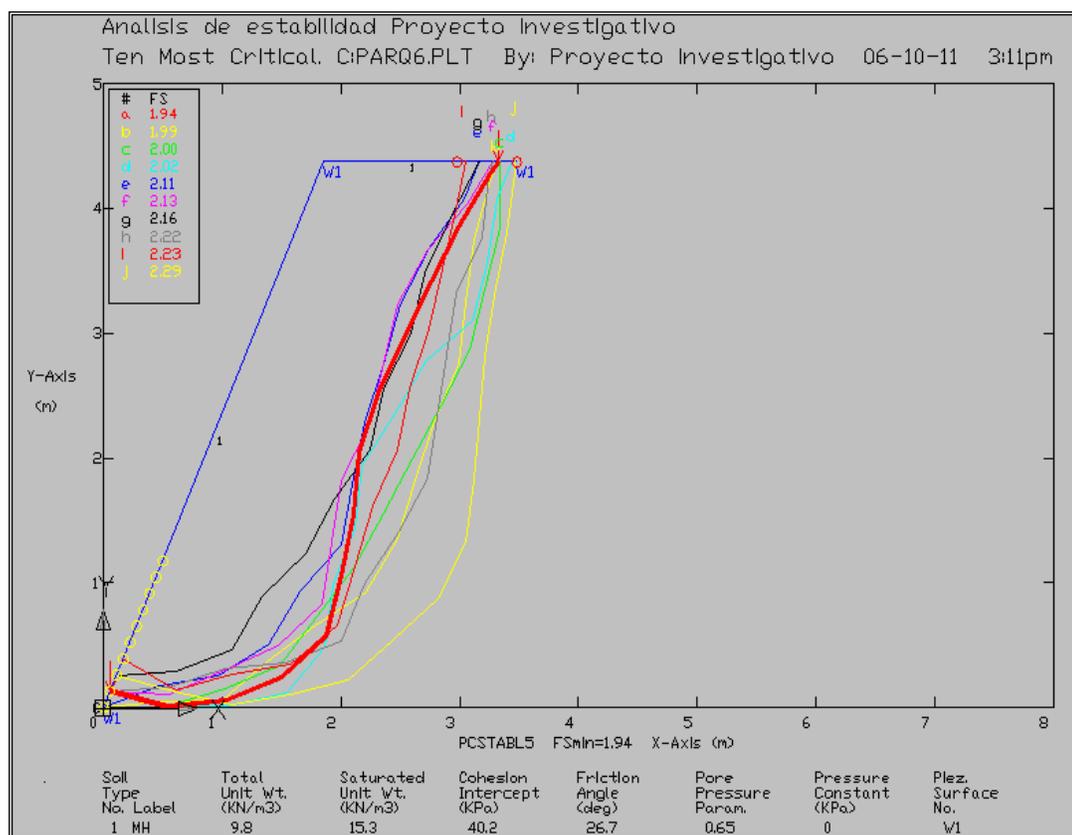


Figura 46. Resultado de la prueba estática bajo condiciones críticas sondeo 2.

Realizada la corrida de estabilidad mediante el software PC-STABLE utilizando el método de análisis JANBU, para fallas irregulares, en condiciones dinámicas, se encontró que el factor de seguridad para esta es de 1.94, en condiciones de lluvia al 100% y sismo de 0,40 lo que determina que el factor de seguridad, dado las



condiciones críticas del talud, ubicado en el parque metropolitano del café es bastante aceptable, su valor está por encima de un Factor de seguridad de 1.

8. 5. 4 Estimación de los parámetros mecánicos del suelo para el programa PC-STABLE mediante el análisis de JANBU para fallas circulares.

Tabla 92. Datos para realizar la prueba en el programa PC-STABLE.

Sondeo 1

	TIPO DE MATERIAL	PROFUNDIDA D (m)	PARÁMETROS FÍSICO MECÁNICOS			
			γ_d (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	C (Kpa)	ϕ
SONDEO 1 (25 – OCTUBRE- 2010)	Suelo residual de cenizas volcánicas	4 mts	9.8	15.2	48	26.7

Para el caso del efecto de las precipitaciones sobre los materiales, se consideraron los parámetros de saturación del suelo con valores obtenidos en el ensayo de laboratorio correspondiente a grado de saturación, los cuales son: 58%, 60%, 70% y 81%.

Para el caso de los efectos de las sollicitaciones sísmicas sobre los terrenos, se tomo el valor establecido en el proyecto de microzonificación sísmica del municipio de Pereira, para la zona 2, cuyo valor es de 0,40.

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

8. 5. 5 Interpretación de resultados de Pc-Stable.

Tabla 93 Resultado factor de seguridad sondeo-1

SONDEO 1 (25 – OCTUBRE- 2010)	TIPO DE ANÁLISIS							
	ESTÁTICO	SEUDO ESTÁTICO						
		Lluvia (58%)	Lluvia (60%)	Lluvia (70%)	Lluvia (81%)	Sismo (0.40)	Lluvia (70%) + Sismo (0,40)	Lluvia (81%) + Sismo (0,40)
F.S.	8.24	3.96	3.93	3.80	3.64	4.32	1.89	1.80

Fuente: Grupo de co-investigadores

Análisis JANBU para fallas circulares.

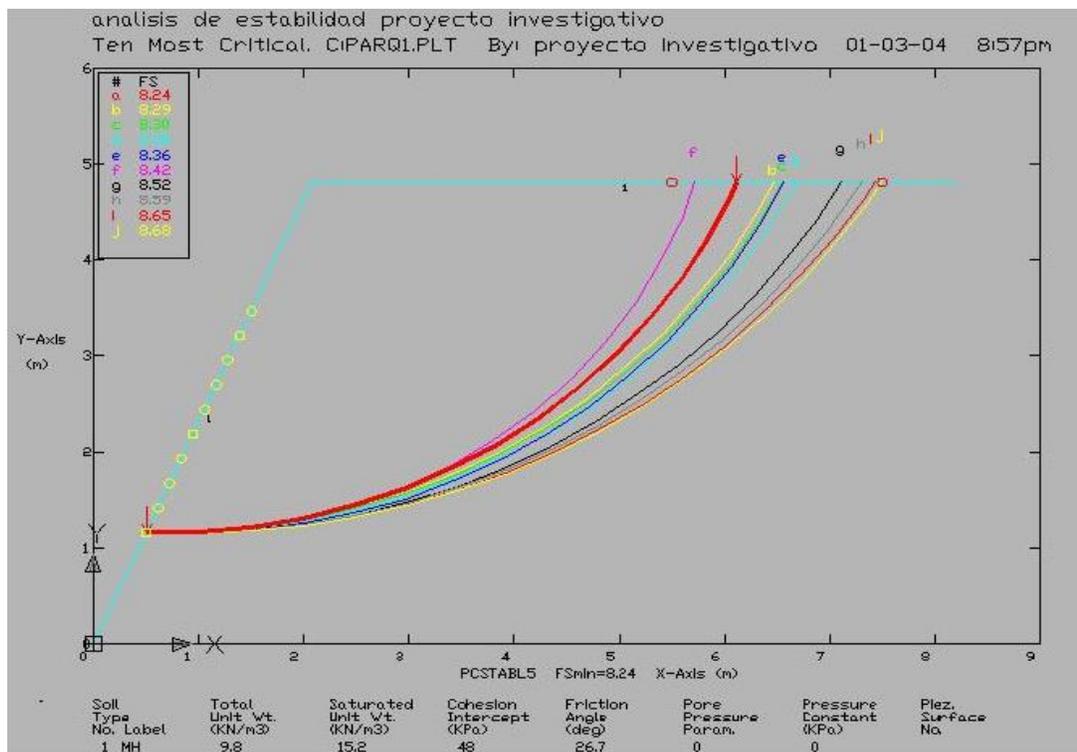


Figura 47. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales sondeo1.
Análisis JANBU para fallas circulares.

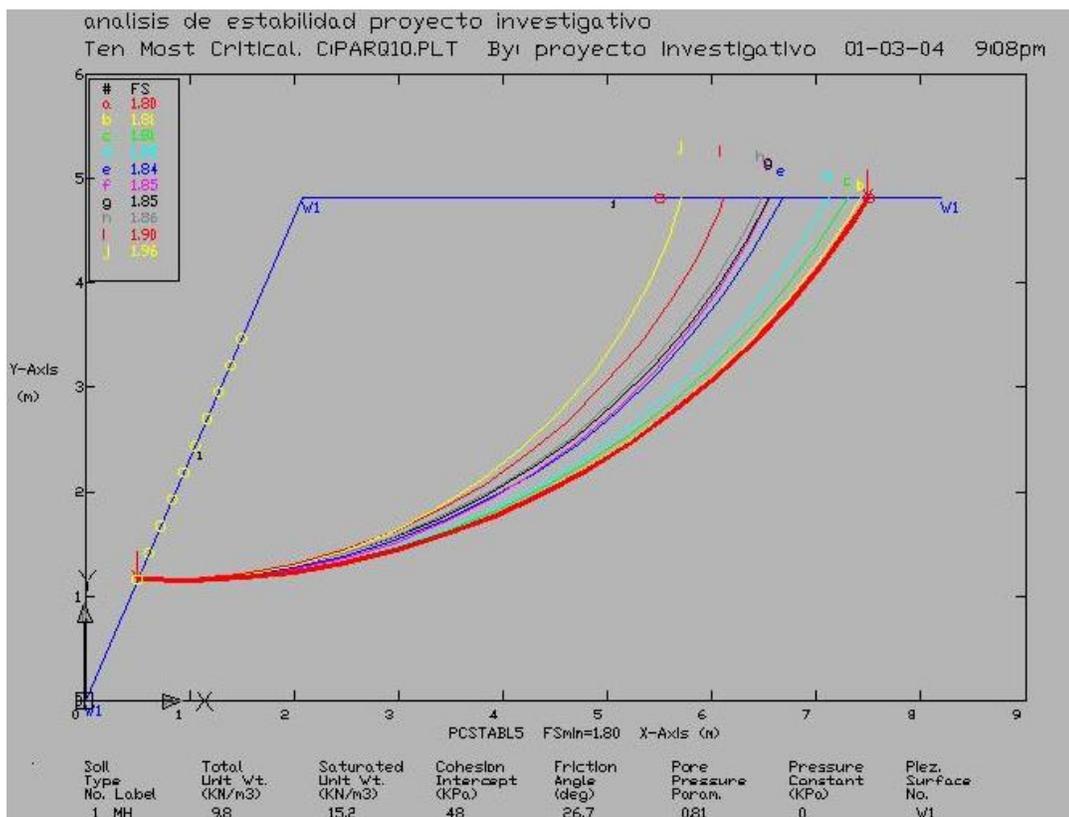


Figura 48. Resultado de la prueba pseudo estática bajo condiciones críticas sondeo1.



9. CONCLUSIONES

El talud ubicado en el parque recreacional del café presenta las siguientes características físico-geométricas, la longitud de talud de estudio es de 130 mts, una pendiente máxima de 67° y una mínima de 66.67° , una altura de 5 mts en su parte más alta, y una altura de 4 mts en su parte más baja, se observo poca cobertura vegetal del suelo lo cual incrementa la infiltración y la erosión del suelo.

Durante el tiempo que se realizo la investigación al talud ubicado en el parque metropolitano del café, se determinaron los parámetros geomecánicos máximos y mínimos para las muestras alteradas los cuales se presentan a continuación:

Contenido de humedad con un valor máximo de 167 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 17 de enero del 2011 y un contenido de humedad mínimo de 51 % obtenido de la muestra extraída en horas de la mañana el día 06 del mes de septiembre del 2010.

Limite líquido con un valor máximo de 132.94 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 8 de noviembre del 2010 y un límite líquido mínimo de 50,95 % obtenido de la muestra extraída en horas de la mañana el día 27 del mes de septiembre del 2010.

Limite plástico con un valor máximo de 98.06 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 8 de noviembre 2010 y un límite plástico mínimo de 45 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 6 del mes de septiembre del 2010.

Índice de plasticidad con un valor máximo de 45.12 % obtenido de la muestra extraída en la mañana el día 02 de agosto del 2010 y un índice de plasticidad



mínimo de 0.32 % obtenido de la muestra extraída en la mañana el día 27 del mes de diciembre del 2010

En el tiempo que se realizó la investigación al talud ubicado en el parque metropolitano del café, se determinaron los parámetros geomecánicos máximos y mínimos para las muestras inalteradas obtenidas mediante las perforaciones los cuales se presentan a continuación:

Contenido de humedad valor máximo de 126.50 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 4.8 mts día 25 de enero del 2011 y un contenido de humedad mínimo de 13.40 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 5 mts el día 27 del mes de septiembre del 2010.

Límite plástico con un valor máximo de 73 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 3.3 mts el día 25 de octubre 2010 y un límite plástico mínimo de 39 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 3.3 mts el día 6 del mes de septiembre del 2010.

Límite líquido con un valor máximo de 95.71 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 3.3 mts, el día 25 de octubre del 2010 y un límite líquido mínimo de 46.09 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 3.3 mts el día 27 del mes de diciembre del 2010.

Índice de plasticidad con un valor máximo de 22.71 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 3.3 mts, el día 25 de octubre del 2010 y un límite líquido mínimo de 5.43 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 1.8 mts el día 25 del mes de enero del 2011.



Peso unitario húmedo con un valor máximo de 1.48 g/cm^3 obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 4.8 mts, el día 07 de febrero del 2011 y un peso unitario húmedo mínimo de 0.13 g/cm^3 obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 4.8 mts el día 09 del mes de diciembre del 2010.

Peso unitario seco con un valor máximo de 0.99 g/cm^3 obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 4.8 mts, el día 25 de octubre del 2010 y un peso unitario seco mínimo de 0.06 g/cm^3 obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 4.8 mts el día 09 del mes de diciembre del 2010.

Comprensión simple con un valor máximo de 2.04 g/cm^3 obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 4.8 mts, el día 09 de diciembre del 2010 y un peso unitario seco mínimo de 0.53 g/cm^3 obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 1.8 mts el día 09 del mes de diciembre del 2010 y el día 07 de febrero del 2011 con el mismo valor mínimo.

Para las muestras alteradas e inalteradas se clasificaron como un mismo tipo de suelo, se realizaron pruebas de tamizado y lavado en tamiz # 200, su clasificación se realizó según el sistema de clasificación de la S.C.U.S por el cual se obtuvo un tipo de suelo (MH) limo de alta compresibilidad.

La temperatura máxima obtenida durante la investigación fue de 29.5 C° registrada el 1 de julio del 2010 y la mínima temperatura registrada fue de 6.24 C° el 19 de febrero de 2011.

La temperatura no fue un factor muy incidente en la variación de los contenidos de humedad y límite líquido en el periodo de tiempo evaluado.



La mayor precipitación registrada durante la investigación se presentó el día 13 de febrero del 2011 con un valor de 46.2 mm, la precipitación acumulada en el mes de julio fue de 127.8 mm, lluvia acumulada mes de agosto 162.01, lluvia acumulada mes de septiembre 183.47, lluvia acumulada mes de octubre 223.50, lluvia acumulada mes de noviembre 273.80, lluvia acumulada mes de diciembre 273.80, lluvia acumulada mes de enero 160.40, lluvia acumulada mes de febrero 226.7 mm, lluvia acumulada mes de marzo 208.10mm.

Realizado el análisis de estabilidad en el software pc-stable con los parámetros mecánicos encontrados se determinó que el factor de seguridad en condiciones pseudo estáticas para ambos casos fue de (7.36 y 7.08) respectivamente, da cuenta de una condición de estabilidad bastante aceptable razón por la cual se infiere que el terreno del talud ubicado en el parque metropolitano del café es bastante estable.

Para el caso de condiciones dinámicas se presenta una condición crítica utilizando una saturación del suelo al 100% y una aceleración sísmica de 0.40 según las características de la zona 2 y su valor en el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad lo cual arrojó un resultado para ambos casos de (1.78 y 2.15) respectivamente, esto da cuenta de una condición de estabilidad aceptable, ya que la probabilidad de ocurrencia de este evento es mínima.



10. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las instituciones competentes en el tema de atención y prevención de desastres que se mejore la instrumentación para obtener información con mayor detalle en cuanto a las precipitaciones, presión de poros y superficies piesométricas en todas las superficies inclinadas del territorio municipal que tengan antecedentes de condiciones inestables.

En razón de que la relación existente entre los parámetros físico-mecánicos del suelo y variación climática local fue significativa solo al momento de establecer lluvias acumuladas se requiere en futuras investigaciones hacer mayor énfasis en este tema.

Es importante al momento de evaluar las relaciones entre las variaciones climáticas y los parámetros mecánicos del suelo en superficies inclinadas, determinar parámetros como infiltración y permeabilidad micro fabrica de arcillas y mineralogía de los materiales que conforman el talud dados que estos últimos pueden ser variables que si incidan en la eventual ocurrencia de procesos inestables

Se recomienda a las autoridades locales diagnosticar de manera detallada los diferentes sitios de la ciudad en donde se localizan superficies inclinadas que puedan comprometer la estabilidad o seguridad de bienes o personas mediante el uso de aplicativos técnicos y georeferenciados que permitan su valoración en tiempo real.

Se recomienda a las autoridades competentes la instalación de piezómetros y el diagnostico de los parámetros físico-mecánicos en aquellos taludes con potencial ocurrencia de deslizamiento



Se recomendará a las autoridades competentes aumentar la capa vegetal tanto en la cara libre del talud como en la berma, con el fin de garantizar el no impacto producido por las escorrentías superficiales.

Se recomiendan a los entes investigadores tener mejores condiciones locativas e instrumentación en los laboratorios para poder desarrollar procesos investigativos más rigurosos, más periódicos ya que algunas de las grandes complicaciones para esta investigación fue el tiempo de disponibilidad y la calibración de los equipos de laboratorio



BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Aristizábal E., Martínez H. & Vélez J. I.: Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. Revista De La Academia Colombiana De Ciencias. Bogotá. 2010. Volumen 34.209-227p.
- Braja M. Das. Fundamentos de ingeniería geotecnia. edición traducida. México. Cengage Learning Editores. 2001. 594 p.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA, CARDER. Agenda ambiental del municipio de Pereira. Risaralda; Pereira. 2002. 60 p.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA, CARDER. Base ambiental con énfasis en riesgo municipio de Pereira. Risaralda; Pereira. 2000. 130 p.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE RISARALDA, CARDER. Diagnostico de riesgos ambientales del municipio de Pereira. Risaralda; Pereira. 2004. 64 p.
- 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.



- 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.
- Lenz Hernández O. J. Influencia de la fábrica de las arcillas volcánicas de la ciudad de Xalapa en su comportamiento geotécnico. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 2004.
- 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.
- Mora Ch. R. Propiedades Físicas, Hidráulicas y Mecánicas De Suelos De Origen Volcánico, En Sitios Seleccionados Del Valle Central, Costa Rica. Revista Geológica de América Central. Costa Rica. 1998. Numero 19. 81-98p.
- 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.
- Narvárez 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.

- 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.
- Suárez J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Colombia. Instituto de investigaciones. 1998. 548 p.
- Buenas tareas. Granulometría.
<http://www.buenastareas.com/ensayos/Ensayo-Granulares/870248.html>



- Heredia M. contenido de humedad en los suelos.
<http://www.arqhys.com/construccion/suelos-humedad.html>
- Manual de laboratorio para compresión no confinada.
http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/compresion_no_confinada.pdf
- Manual de laboratorio para corte directo.
http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/corte_directo.pdf
- Monografías. Peso unitarios.
<http://www.monografias.com/trabajos4/ladensidad/ladensidad.shtml>
- Wikipedia. Contenido de humedad.
http://es.wikipedia.org/wiki/Humedad#Contenido_de_humedad.
- Wikipedia. Limites de Atterberg.
http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites_de_Atterberg.
- Wikipedia. Meteorología.
http://es.wikipedia.org/wiki/Precipitaci%C3%B3n_%28meteorolog%C3%ADa%29.
- Wikipedia. Cohesión.
http://es.wikipedia.org/wiki/Cohesi%C3%B3n_del_terreno
- Wikipedia. Coeficiente de uniformidad.
http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_uniformidad

ANEXOS

Anexo A; Registro fotográfico del entorno y proceso de laboratorios.









Anexo B; Ficha de caracterización.

Anexo C; Resultados de laboratorio corte directo sondeo 1.

MG INGENIERIA Y GEOTECNIA		ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU							MG-LAB-RE-060 VERSION: 1 Pagina 1 de 3	
Ordenado por: Ing. Rene Restrepo										
Obra: Talud Parque del Café										
Contratista: Ing. Rene Restrepo										
Fuente del material: Sondeo 5 - 2. Prof. 3,00 m. Suelo café claro. Fecha de toma: Enero 7 de 2011.										
Fecha del informe: 14 de Junio del 2011										

DEFORMACIÓN TANGENCIAL (0,01 mm)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA TANGENCIAL (%)	DEFORMACIÓN ANILLO DE CARGA (0,0001)	CARGA TANGENCIAL (kg)	AREA CORREGIDA (cm²)	ESFUERZOS APLICADOS (kg/cm²)		OBLICUIDAD	MEDIDAS DE LA MUESTRA		
						NORMAL	TANGENCIAL		Dímetro =	5,00 cm	
0	0,000	0,00%	0,0	0,000	19,635	1,019	0,000	0,000	Altura (H) =	2,16 cm	
10	0,010	0,20%	1,8	0,195	19,585	1,021	0,010	0,010	Area (A ₀) =	19,635 cm²	
20	0,020	0,40%	3,4	1,102	19,535	1,024	0,056	0,055	Volumen =	42,412 cm³	
40	0,040	0,80%	8,0	3,710	19,435	1,028	0,191	0,196	CONTENIDO DE AGUA		
60	0,060	1,20%	10,6	5,184	19,335	1,034	0,268	0,259	Peso húmedo:	189,80 gr	
80	0,080	1,60%	14,0	7,112	19,235	1,040	0,370	0,356	Peso Seco:	88,20 gr	
100	0,100	2,00%	17,8	9,286	19,135	1,045	0,484	0,463	w =	89,12 %	
120	0,120	2,40%	20,8	10,967	19,035	1,051	0,576	0,548	PESOS UNITARIOS (Gr / cm²)		
140	0,140	2,80%	24,4	13,609	18,935	1,056	0,667	0,650	P Unit Húmedo =	1,56	
160	0,160	3,20%	27,6	14,823	18,835	1,062	0,787	0,741	P Unit Seco =	0,83	
180	0,180	3,60%	29,4	15,843	18,735	1,068	0,846	0,792	Esfuerzo normal aplicado (kg/cm²)		
200	0,200	4,00%	31,2	16,864	18,635	1,073	0,905	0,843	CARGA (kg)		
220	0,220	4,40%	33,0	17,884	18,535	1,079	0,965	0,894	20,0		
240	0,240	4,80%	33,8	18,338	18,435	1,085	0,995	0,917	Peso molde (gr):		123,6
260	0,260	5,20%	34,8	18,506	18,335	1,081	1,031	0,945	Molde + arena húmeda (gr):		189,8
280	0,280	5,60%	35,4	19,245	18,235	1,087	1,055	0,982	Peso arena húmeda (gr):		66,2
300	0,300	6,00%	35,6	19,358	18,136	1,103	1,067	0,968	Peso unit. húmed (gr/cm²):		1,561
320	0,320	6,40%	35,0	19,018	18,036	1,109	1,054	0,951	Peso unit. seco (gr/cm²):		0,825
340	0,340	6,80%	34,8	18,905	17,936	1,115	1,054	0,945			
360	0,360	7,20%	34,8	18,792	17,837	1,121	1,054	0,940			
380	0,380	7,60%	34,0	18,451	17,737	1,126	1,040	0,923			
400	0,400	8,00%	33,6	18,225	17,637	1,134	1,033	0,911			
420	0,420	8,40%	33,2	17,989	17,537	1,140	1,026	0,900			
440	0,440	8,80%	33,0	17,884	17,438	1,147	1,026	0,894			
460	0,460	9,20%	32,8	17,771	17,338	1,154	1,025	0,889			
480	0,480	9,60%	32,6	17,658	17,239	1,160	1,024	0,883			
500	0,500	10,00%	32,0	17,317	17,139	1,167	1,010	0,866			
520	0,520	10,40%	31,8	17,204	17,040	1,174	1,010	0,860			
540	0,540	10,80%	31,4	16,977	16,940	1,181	1,002	0,849			
560	0,560	11,20%	31,2	16,864	16,841	1,188	1,001	0,843			
580	0,580	11,60%	31,0	16,750	16,741	1,195	1,001	0,838			
600	0,600	12,00%	31,0	16,750	16,642	1,202	1,007	0,838			

DEFORMACIÓN TANGENCIAL (0,01 mm)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA TANGENCIAL (%)	DEFORMACIÓN ANILLO DE CARGA (0,0001)	CARGA TANGENCIAL (kg)	AREA CORREGIDA (cm²)	ESFUERZOS APLICADOS (kg/cm²)		OBLICUIDAD	MEDIDAS DE LA MUESTRA		
						NORMAL	TANGENCIAL		Dímetro =	5,00 cm	
0	0,000	0,00%	0,0	0,000	19,635	2,037	0,000	0,000	Altura (H) =	2,16 cm	
10	0,010	0,20%	4,6	1,782	19,585	2,042	0,091	0,045	Area (A ₀) =	19,635 cm²	
20	0,020	0,40%	7,2	3,257	19,535	2,046	0,167	0,081	Volumen =	42,412 cm³	
40	0,040	0,80%	12,6	6,318	19,435	2,058	0,325	0,158	CONTENIDO DE AGUA		
60	0,060	1,20%	16,8	8,699	19,335	2,069	0,450	0,217	Peso húmedo:	189,80 gr	
80	0,080	1,60%	21,2	11,194	19,235	2,080	0,582	0,280	Peso Seco:	88,20 gr	
100	0,100	2,00%	24,8	13,235	19,135	2,090	0,692	0,331	w =	89,12 %	
120	0,120	2,40%	28,0	15,064	19,035	2,101	0,820	0,380	PESOS UNITARIOS (Gr / cm²)		
140	0,140	2,80%	33,2	17,998	18,935	2,112	0,950	0,450	P Unit Húmedo =	1,56	
160	0,160	3,20%	35,8	19,472	18,835	2,124	1,034	0,487	P Unit Seco =	0,83	
180	0,180	3,60%	38,4	20,846	18,735	2,135	1,118	0,524	Esfuerzo normal aplicado (kg/cm²)		
200	0,200	4,00%	41,6	22,780	18,635	2,146	1,221	0,569	CARGA (kg)		
220	0,220	4,40%	44,0	24,121	18,535	2,158	1,301	0,603	40,0		
240	0,240	4,80%	46,8	25,709	18,435	2,170	1,395	0,643	Peso molde (gr):		123,6
260	0,260	5,20%	48,4	26,618	18,335	2,182	1,452	0,665	Molde + arena húmeda (gr):		189,8
280	0,280	5,60%	50,5	27,806	18,235	2,194	1,525	0,695	Peso arena húmeda (gr):		66,2
300	0,300	6,00%	51,8	28,543	18,136	2,206	1,574	0,714	Peso unit. húmed (gr/cm²):		1,561
320	0,320	6,40%	52,2	28,770	18,036	2,218	1,595	0,719	Peso unit. seco (gr/cm²):		0,825
340	0,340	6,80%	52,2	28,770	17,936	2,230	1,604	0,719			
360	0,360	7,20%	52,0	28,657	17,837	2,243	1,607	0,716			
380	0,380	7,60%	52,0	28,657	17,737	2,255	1,616	0,716			
400	0,400	8,00%	51,6	28,430	17,637	2,268	1,612	0,711			
420	0,420	8,40%	51,2	28,203	17,537	2,281	1,608	0,705			
440	0,440	8,80%	51,2	28,203	17,438	2,294	1,617	0,705			
460	0,460	9,20%	50,8	27,976	17,338	2,307	1,614	0,699			
480	0,480	9,60%	50,0	27,523	17,239	2,320	1,597	0,688			
500	0,500	10,00%	49,2	27,069	17,139	2,334	1,579	0,677			
520	0,520	10,40%	48,8	26,842	17,040	2,347	1,575	0,671			
540	0,540	10,80%	48,4	26,618	16,940	2,361	1,571	0,665			
560	0,560	11,20%	48,0	26,389	16,841	2,375	1,567	0,660			
580	0,580	11,60%	48,0	26,389	16,741	2,389	1,576	0,660			
600	0,600	12,00%	47,8	26,276	16,642	2,404	1,579	0,657			
620	0,620	12,40%	47,4	26,049	16,543	2,418	1,575	0,651			
640	0,640	12,80%	47,4	26,049	16,444	2,433	1,584	0,651			
660	0,660	13,20%	46,8	25,709	16,345	2,447	1,573	0,643			

Observaciones : Las muestras fueron tomadas y traídas por el personal del Contratista.

Mercedes Garcia E
ING. MERCEDES GARCIA ESCOBAR
 MG Ingeniería y Geotecnia
 Gerente

Avenida Sur No. 23 - 211. Tel. 3215704 - 3218453 Fax:3218452. Cel. (315) 5079626 - 5795863
 PEREIRA



MG INGENIERIA Y GEOTECNIA

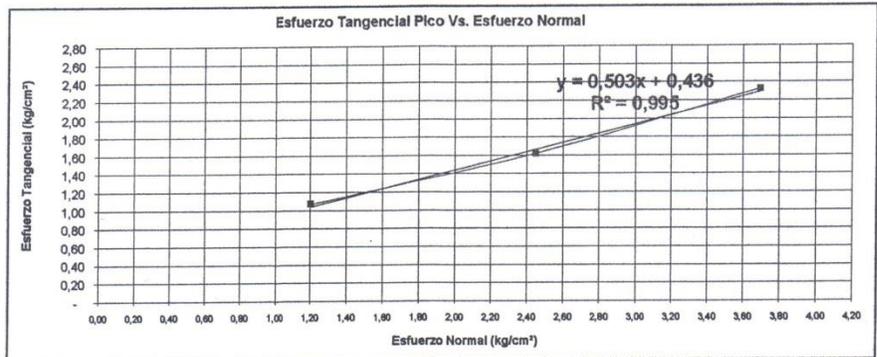
ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU

MG-LAB-RE-060
VERSION: 1
Pagina 2 de 3

Ordenado por: Ing. René Restrepo
 Obra: Talud Parque del Café
 Contratista: Ing. René Restrepo
 Fuente del material: Sondeo 5 - 2. Prof. 3,00 m. Suelo café claro. Fecha de toma: Enero 7 de 2011.
 Fecha del informe: 14 de Junio del 2011

DEFORMACIÓN TANGENCIAL (0,01 mm)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA TANGENCIAL (%)	DEFORMACIÓN ANILLO DE CARGA (0,0001")	CARGA TANGENCIAL (kg)	AREA CORREGIDA (cm²)	ESFUERZOS APLICADOS (kg/cm²)		OBLICUIDAD	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
						NORMAL	TANGENCIAL		Dímetro =	Altura (h) =
0	0,000	0,00%	0,0	0,000	19,635	3,058	0,000	0,000	5,00	cm
10	0,010	0,20%	7,2	3,257	19,585	3,064	0,198	0,054	2,16	cm
20	0,020	0,40%	12,0	5,978	19,535	3,071	0,306	0,100	19,635	cm²
40	0,040	0,80%	17,4	9,040	19,435	3,087	0,465	0,151	42,412	cm³
60	0,060	1,20%	24,2	12,895	19,335	3,103	0,667	0,215		
80	0,080	1,60%	29,8	18,070	19,235	3,119	0,835	0,268		
100	0,100	2,00%	35,6	19,358	19,135	3,136	1,012	0,323		
120	0,120	2,40%	40,2	21,967	19,035	3,152	1,154	0,368		
140	0,140	2,80%	45,2	24,801	18,935	3,169	1,310	0,413		
160	0,160	3,20%	50,6	27,863	18,835	3,186	1,479	0,464		
180	0,180	3,60%	56,2	31,038	18,735	3,203	1,657	0,517		
200	0,200	4,00%	60,2	33,306	18,635	3,220	1,787	0,555		
220	0,220	4,40%	63,8	35,347	18,535	3,237	1,907	0,589		
240	0,240	4,80%	66,2	36,708	18,435	3,255	1,991	0,612		
260	0,260	5,20%	68,8	38,182	18,338	3,272	2,082	0,636		
280	0,280	5,60%	70,6	39,202	18,238	3,290	2,180	0,653		
300	0,300	6,00%	71,2	39,543	18,138	3,308	2,180	0,659		
320	0,320	6,40%	72,6	40,450	18,038	3,327	2,243	0,674		
340	0,340	6,80%	73,8	41,017	17,938	3,345	2,287	0,684		
360	0,360	7,20%	73,2	40,677	17,837	3,354	2,281	0,678		
380	0,380	7,60%	73,0	40,563	17,737	3,383	2,287	0,676		
400	0,400	8,00%	72,6	40,336	17,637	3,402	2,287	0,672		
420	0,420	8,40%	72,0	39,996	17,537	3,421	2,281	0,667		
440	0,440	8,80%	71,8	39,883	17,438	3,441	2,287	0,665		
460	0,460	9,20%	71,2	39,543	17,338	3,461	2,281	0,659		
480	0,480	9,60%	70,6	39,202	17,239	3,481	2,274	0,653		
500	0,500	10,00%	70,2	38,976	17,139	3,501	2,274	0,650		
520	0,520	10,40%	70,2	38,976	17,040	3,521	2,287	0,650		
540	0,540	10,80%	69,6	38,635	16,940	3,542	2,281	0,644		
560	0,560	11,20%	69,4	38,522	16,841	3,563	2,287	0,642		
580	0,580	11,60%	69,2	38,409	16,741	3,584	2,294	0,640		
600	0,600	12,00%	69,0	38,295	16,642	3,605	2,301	0,638		
620	0,620	12,40%	68,8	38,182	16,543	3,627	2,308	0,636		
640	0,640	12,80%	68,4	37,955	16,444	3,649	2,308	0,633		
660	0,660	13,20%	68,0	37,728	16,345	3,671	2,308	0,629		
680	0,680	13,60%	68,0	37,728	16,245	3,693	2,322	0,629		

ANGULO DE FRICCIÓN PICO (grados):	26,7
COHESIÓN PICO (Kg/cm²):	0,44



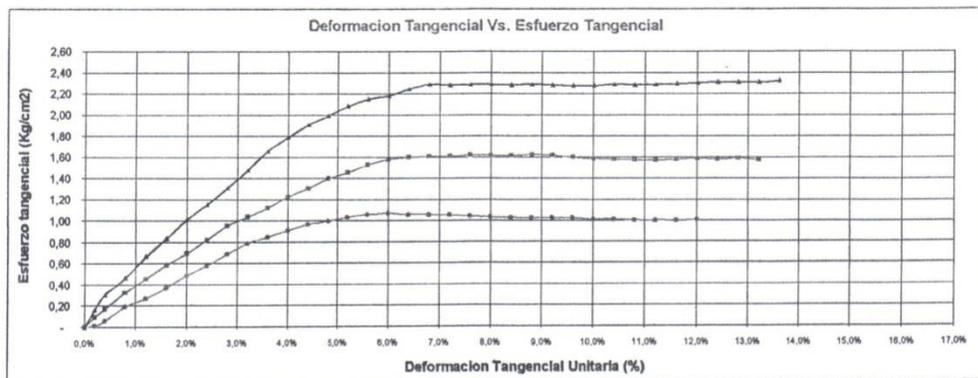
Observaciones: Las muestras fueron tomadas y traídas por el personal del Contratista.

M. Mercedes García Escobar
 ING. MERCEDES GARCÍA ESCOBAR
 MG Ingeniería y Geotecnia
 Gerente

Avenida Sur No. 23 - 211. Tel. 3215704 - 3218463 Fax 3218462. Cel. (315) 5079626 - 5795863
 PEREIRA

MG INGENIERIA Y GEOTECNIA	ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU	MG-LAB-RE-060 VERSION: 1 Pagina 3 de 3
----------------------------------	-----------------------------------	--

Ordenado por: Ing. Rene Restrepo
 Obra: Talud Parque del Café
 Contratista: Ing. Rene Restrepo
 Fuente del material: Sondeo 5 - 2. Prof. 3,00 m. Suelo café claro. Fecha de toma: Enero 7 de 2011.
 Fecha del informe: 14 de Junio del 2011



Observaciones : _____

ING. MERCEDES GARCIA ESCOBAR
 MG Ingeniería y Geotecnia
 Gerente

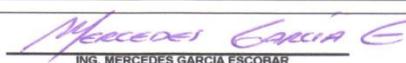
Anexo D; resultado de laboratorio corte directo sondeo 2.

 MG INGENIERIA Y GEOTECNIA	ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU	MG-LAB-RE-060 VERSION: 1 Pagina 1 de 3
Ordenado por: <u>Ing. Rene Restrepo.</u> Obra: <u>Talud Parque del Café.</u> Contratista: <u>Ing. Rene Restrepo.</u> Fuente del material: <u>Muestra 1. H = 4.00 M. Parque del Café.</u> Fecha del informe: _____ de _____ de 2010		

DEFORMACIÓN TANGENCIAL (0,01 mm)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA TANGENCIAL (%)	DEFORMACIÓN ANILLO DE CARGA (0,0001")	CARGA TANGENCIAL (kg)	AREA CORREGIDA (cm²)	ESFUERZOS APLICADOS (kg/cm²)		OBLICUIDAD	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
						NORMAL	TANGENCIAL		Diámetro =	5,00 cm
0	0,000	0,00%	0,0	0,000	19,635	1,019	0,000	0,000	Altura (H) =	2,16 cm
10	0,010	0,20%	4,8	1,896	19,585	1,021	0,097	0,095	Area (A _u) =	19,635 cm²
20	0,020	0,40%	7,0	3,143	19,535	1,024	0,161	0,157	Volumen =	42,412 cm³
40	0,040	0,80%	12,2	6,091	19,435	1,029	0,313	0,305	CONTENIDO DE AGUA	
60	0,060	1,20%	16,0	8,246	19,335	1,034	0,426	0,412	Peso Humedo =	144,50 gr
80	0,080	1,60%	18,8	9,833	19,235	1,045	0,509	0,582	Peso Seco =	93,20 gr
100	0,100	2,00%	22,0	11,648	19,135	1,056	0,601	0,758	w =	55,04 %
120	0,120	2,40%	25,2	13,462	19,035	1,051	0,707	0,673	PESOS UNITARIOS (Gr / cm²)	
140	0,140	2,80%	28,2	15,163	18,935	1,056	0,801	0,838	P. Unit. Humedo =	1,85
160	0,160	3,20%	31,0	16,750	18,835	1,062	0,889	0,838	P. Unit. Seco =	1,00
180	0,180	3,60%	33,0	17,884	18,735	1,068	0,955	0,894	ESFUERZO NORMAL APLICADO (kg/cm²)	
200	0,200	4,00%	33,4	18,111	18,635	1,073	1,002	0,928	1,0186	
220	0,220	4,40%	34,2	18,565	18,535	1,079	1,002	0,957		
240	0,240	4,80%	35,2	19,132	18,435	1,085	1,038	0,985	CARGA (kg)	
260	0,260	5,20%	36,2	19,699	18,336	1,091	1,074	0,985	20,0	
280	0,280	5,60%	37,0	20,152	18,236	1,097	1,105	1,008		
300	0,300	6,00%	37,2	20,265	18,136	1,103	1,117	1,013	Peso molde (gr):	
320	0,320	6,40%	37,2	20,265	18,036	1,109	1,124	1,013		
340	0,340	6,80%	37,2	20,265	17,936	1,115	1,130	1,013	Molde + mtra. humeda (gr):	
360	0,360	7,20%	36,8	20,038	17,837	1,121	1,123	1,002		
380	0,380	7,60%	35,8	19,472	17,737	1,128	1,098	0,974	Peso mtra. humeda (gr):	
400	0,400	8,00%	34,6	18,791	17,637	1,134	1,065	0,940		
420	0,420	8,40%	33,8	18,338	17,537	1,140	1,046	0,917	Peso unit. humed (gr/cm²)	
440	0,440	8,80%	33,2	17,998	17,438	1,147	1,032	0,900		
460	0,460	9,20%	32,8	17,771	17,339	1,150	1,017	0,872	Peso unit. seco (gr/cm²)	
480	0,480	9,60%	32,2	17,431	17,239	1,157	1,016	0,866		
500	0,500	10,00%	32,0	17,317	17,140	1,164	1,016	0,860		
520	0,520	10,40%	31,8	17,204	16,940	1,181	1,016	0,850		
540	0,540	10,80%	31,6	17,090	16,841	1,188	1,015	0,855		
560	0,560	11,20%	31,4	16,977	16,741	1,195	1,014	0,849		
580	0,580	11,60%	31,0	16,750	16,642	1,202	1,006	0,838		
600	0,600	12,00%	30,8	16,523	16,543	1,209	0,999	0,826		
620	0,620	12,40%	30,2	16,297	16,444	1,216	0,991	0,815		
640	0,640	12,80%								

DEFORMACIÓN TANGENCIAL (0,01 mm)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (cm)	DEFORMACIÓN UNITARIA TANGENCIAL (%)	DEFORMACIÓN ANILLO DE CARGA (0,0001")	CARGA TANGENCIAL (kg)	AREA CORREGIDA (cm²)	ESFUERZOS APLICADOS (kg/cm²)		OBLICUIDAD	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
						NORMAL	TANGENCIAL		Diámetro =	5,00 cm
0	0,000	0,00%	0,0	0,000	19,635	2,037	0,000	0,000	Altura (H) =	2,16 cm
10	0,010	0,20%	5,4	2,236	19,585	2,042	0,114	0,056	Area (A _u) =	19,635 cm²
20	0,020	0,40%	11,0	5,411	19,535	2,048	0,277	0,135	Volumen =	42,412 cm³
40	0,040	0,80%	20,0	10,514	19,435	2,058	0,541	0,263	CONTENIDO DE AGUA	
60	0,060	1,20%	25,8	13,802	19,335	2,069	0,714	0,345	Peso Humedo =	144,50 gr
80	0,080	1,60%	31,4	16,977	19,235	2,080	0,883	0,424	Peso Seco =	93,20 gr
100	0,100	2,00%	35,8	19,472	19,135	2,090	1,018	0,487	w =	55,04 %
120	0,120	2,40%	38,8	21,173	19,035	2,101	1,112	0,529	PESOS UNITARIOS (Gr / cm²)	
140	0,140	2,80%	41,8	22,874	18,935	2,112	1,208	0,572	P. Unit. Humedo =	1,57
160	0,160	3,20%	44,6	24,461	18,835	2,124	1,299	0,612	P. Unit. Seco =	1,01
180	0,180	3,60%	46,2	25,368	18,735	2,135	1,354	0,634	ESFUERZO NORMAL APLICADO (kg/cm²)	
200	0,200	4,00%	48,2	26,502	18,635	2,146	1,422	0,663	2,0372	
220	0,220	4,40%	50,0	27,523	18,535	2,158	1,485	0,688		
240	0,240	4,80%	51,2	28,203	18,435	2,170	1,530	0,705	CARGA (kg)	
260	0,260	5,20%	52,2	28,770	18,336	2,182	1,560	0,719	40,0	
280	0,280	5,60%	53,2	29,337	18,236	2,194	1,609	0,733		
300	0,300	6,00%	54,2	29,904	18,136	2,206	1,649	0,748	Peso molde (gr):	
320	0,320	6,40%	54,4	30,017	18,036	2,218	1,664	0,750		
340	0,340	6,80%	55,2	30,471	17,936	2,230	1,699	0,762	Molde + mtra. humeda (gr):	
360	0,360	7,20%	55,8	30,811	17,837	2,243	1,727	0,770		
380	0,380	7,60%	55,8	30,811	17,737	2,255	1,737	0,770	Peso mtra. humeda (gr):	
400	0,400	8,00%	55,8	30,811	17,637	2,268	1,747	0,770		
420	0,420	8,40%	55,4	30,584	17,537	2,281	1,744	0,765	Peso unit. humed (gr/cm²)	
440	0,440	8,80%	55,2	30,471	17,438	2,294	1,747	0,762		
460	0,460	9,20%	55,0	30,358	17,338	2,307	1,751	0,759	1,011	
480	0,480	9,60%	54,4	30,017	17,239	2,320	1,741	0,750		
500	0,500	10,00%	54,2	29,904	17,139	2,334	1,745	0,748		
520	0,520	10,40%	53,8	29,677	17,040	2,347	1,742	0,742		
540	0,540	10,80%	53,4	29,450	16,940	2,361	1,738	0,736		
560	0,560	11,20%	53,0	29,224	16,841	2,375	1,735	0,731		
580	0,580	11,60%	52,2	28,770	16,741	2,389	1,718	0,719		
600	0,600	12,00%	51,6	28,430	16,642	2,404	1,708	0,711		
620	0,620	12,40%	50,8	27,976	16,543	2,418	1,691	0,699		
640	0,640	12,80%	50,0	27,523	16,444	2,433	1,674	0,688		
660	0,660	13,20%	49,6	27,296	16,345	2,447	1,670	0,682		
680	0,680	13,60%	49,2	27,069	16,245	2,462	1,666	0,677		
700	0,700	14,00%	49,0	26,956	16,146	2,477	1,669	0,674		
720	0,720	14,40%	48,6	26,729	16,047	2,493	1,666	0,668		

Observaciones : Las muestras fueron tomadas y traídas por el personal del Contratista.


ING. MERCEDES GARCÍA ESCOBAR
 MG Ingeniería y Geotecnia
 Gerente

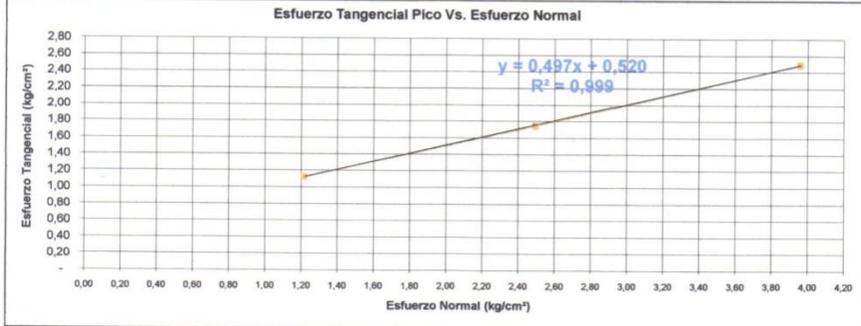
Avenida Sur No. 23 - 211. Tel. 3215704 - 3218453 Fax.3218452. Cel. (315) 5079626 - 5795863
PEREIRA

 MG INGENIERIA Y GEOTECNIA	ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU	MG-LAB-RE-060 VERSION: 1 Página 2 de 3
--	-----------------------------------	---

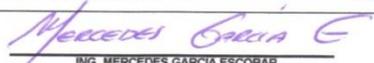
Ordenado por: Ing. Rene Restrepo.
 Obra: Talud Parque del Café.
 Contratista: Ing. Rene Restrepo.
 Fuente del material: Muestra T. H = 4,00 M. Parque del Café.
 Fecha del informe: _____ de _____ de _____ del _____ 2010

DEFORMACIÓN TANGENCIAL (0,01 mm)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (cm)	DEFORMACIÓN TANGENCIAL (%)	DEFORMACIÓN ANILLO DE CARGA (0,0001")	CARGA TANGENCIAL (kg)	AREA CORREGIDA (cm²)	ESFUERZOS APLICADOS (kg/cm²)		OBSCURIDAD	MEDIDAS DE LA MUESTRA	
						NORMAL	TANGENCIAL			
0	0,000	0,00%	0,0	0,000	19,635	3,056	0,000	0,000	Dímetro =	5,00 cm
10	0,010	0,20%	6,8	3,030	19,595	3,064	0,155	0,050	Altura (H) =	2,16 cm
20	0,020	0,40%	11,0	5,411	19,535	3,071	0,277	0,090	Area (A _s) =	19,835 cm²
40	0,040	0,80%	17,2	8,926	19,435	3,087	0,459	0,149	Volumen =	42,412 cm³
60	0,060	1,20%	23,2	12,328	19,335	3,103	0,638	0,205	CONTENIDO DE AGUA	
80	0,080	1,60%	28,8	15,503	19,235	3,119	0,808	0,258		
100	0,100	2,00%	34,8	18,905	19,135	3,136	0,988	0,315	Peso Humedo =	144,50 gr
120	0,120	2,40%	39,6	21,626	19,035	3,152	1,136	0,360	Peso Seco =	93,20 gr
140	0,140	2,80%	43,4	23,781	18,935	3,169	1,256	0,396	w =	55,04 %
160	0,160	3,20%	45,0	24,688	18,835	3,186	1,311	0,411	PESOS UNITARIOS (Gr / cm³)	
180	0,180	3,60%	47,0	26,956	18,735	3,203	1,378	0,430		
200	0,200	4,00%	49,0	25,822	18,635	3,220	1,446	0,449	P Unit Humedo =	1,55
220	0,220	4,40%	50,8	27,962	18,535	3,237	1,509	0,465	P Unit Seco =	1,00
240	0,240	4,80%	52,6	28,997	18,435	3,255	1,573	0,483	CARGA (kg)	
260	0,260	5,20%	54,5	30,074	18,336	3,272	1,640	0,501		
280	0,280	5,60%	55,6	30,698	18,236	3,290	1,683	0,512	Esfuerzo normal aplicado (kg/cm²)	3,0558
300	0,300	6,00%	57,0	31,491	18,136	3,308	1,736	0,525	CARGA (kg)	
320	0,320	6,40%	58,8	32,512	18,036	3,327	1,803	0,542		
340	0,340	6,80%	60,8	33,646	17,936	3,345	1,876	0,561		
360	0,360	7,20%	62,8	34,780	17,837	3,364	1,950	0,580		
380	0,380	7,60%	63,8	35,347	17,737	3,383	1,993	0,589		
400	0,400	8,00%	65,0	36,027	17,637	3,402	2,043	0,600		
420	0,420	8,40%	66,0	36,594	17,537	3,421	2,087	0,610		
440	0,440	8,80%	67,4	37,388	17,438	3,441	2,144	0,623		
460	0,460	9,20%	69,4	38,522	17,338	3,461	2,222	0,642		
480	0,480	9,60%	71,2	39,542	17,239	3,481	2,294	0,659		
500	0,500	10,00%	72,0	39,996	17,139	3,501	2,334	0,667		
520	0,520	10,40%	72,6	40,336	17,040	3,521	2,367	0,672		
540	0,540	10,80%	73,4	40,790	16,940	3,542	2,408	0,680		
560	0,560	11,20%	74,2	41,243	16,841	3,563	2,449	0,687		
580	0,580	11,60%	74,6	41,470	16,741	3,584	2,477	0,691		
600	0,600	12,00%	74,6	41,470	16,642	3,605	2,492	0,695		
620	0,620	12,40%	74,0	41,130	16,543	3,627	2,486	0,685		
640	0,640	12,80%	73,6	40,903	16,444	3,649	2,487	0,682		
660	0,660	13,20%	73,0	40,563	16,345	3,671	2,482	0,676		
680	0,680	13,60%	71,8	39,883	16,245	3,693	2,455	0,665		
700	0,700	14,00%	70,8	39,316	16,146	3,716	2,435	0,655		
720	0,720	14,40%	70,4	39,089	16,047	3,739	2,436	0,651		
740	0,740	14,80%	69,8	38,749	15,949	3,762	2,430	0,646		
760	0,760	15,20%	68,4	37,955	15,850	3,786	2,395	0,633		
780	0,780	15,60%	67,2	37,278	15,751	3,809	2,367	0,621		
800	0,800	16,00%	66,4	36,821	15,652	3,833	2,352	0,614		
820	0,820	16,40%	65,8	36,481	15,553	3,858	2,346	0,608		
840	0,840	16,80%	65,4	36,254	15,455	3,882	2,346	0,604		
860	0,860	17,20%	64,6	35,800	15,356	3,907	2,331	0,597		
880	0,880	17,60%	64,0	35,460	15,258	3,932	2,324	0,591		
900	0,900	18,00%	63,5	35,177	15,159	3,958	2,320	0,586		

ANGULO DE FRICCION PICO (grados): **26,4**
COHESION PICO (Kg/cm²): **0,52**



Observaciones: Las muestras fueron tomadas y traídas por el personal del Contratista.


ING. MERCEDES GARCÍA ESCOBAR
 MG Ingeniería y Geotecnia
 Gerente

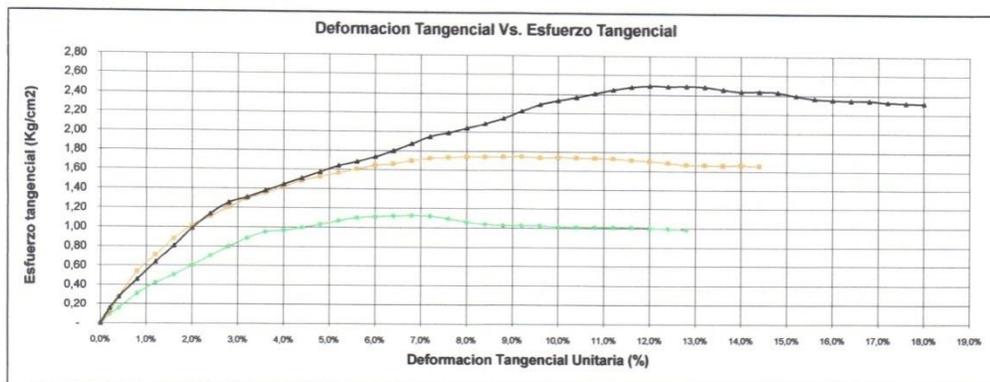


MG INGENIERIA Y GEOTECNIA

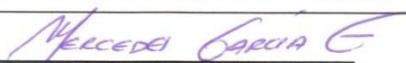
ENSAYO DE CORTE DIRECTO UU

MG-LAB-RE-060
VERSION: 1
Pagina 3 de 3

Ordenado por: Ing. Rene Restrepo.
 Obra: Talud Parque del Café.
 Contratista: Ing. Rene Restrepo.
 Fuente del material: Muestra 1. H = 4,00 M. Parque del Café.
 Fecha del informe : 30 de Octubre del 2010



Observaciones : Las muestras fueron tomadas y traídas por el personal del Contratista.


 ING. MERCEDES GARCÍA ESCOBAR
 MG Ingeniería y Geotecnia
 Gerente



Anexo E; Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa

NORMA TECNICA 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 ≥ 500 gr

PREPARACION 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 esta compuesto por capas, si el espécimen no esta formado por capas se hace un corte tomando un trozo representativo cortando la superficie expuesta de la mitad del material (suelos



cohesivos requieren ½ 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



**DETERMINACIÓN EN LABORATORIO
DEL CONTENIDO DE AGUA
(HUMEDAD) DEL SUELO, ROCA Y MEZCLAS
DE SUELO-AGREGADO
UNIVERSIDAD LIBRE – PEREIRA**

--

Localización: CARDONA

Fecha y hora:

Clima:

Nº Muestra:

Descripción:

Espesor de la capa orgánica:

PRUEBA Nº	1	2	3
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 F; 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 μ) 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.

se pasa el material a través del tamiz no. 40 tantas veces sea necesario, hasta asegurar la no presencia de materiales gruesos.

PROCEDIMIENTO:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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



6. los intentos deben presentar los siguientes intrvalos: 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 .

7. 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 SIGUIENTE ECUACIÓN:

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

LL: limite liquido

W_m: peso de la muestra

W_s: peso seco de la muestra



LIMITE PLASTICO:

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:

1. 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.
2. 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.

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



4. 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.
5. 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. S determina el contenido de humedad del suelo en los recipientes, siguiendo el método de ensayo descrito en la NTC 1495.

CÁLCULOS:

SE UTILIZA LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

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

LP: limite plastico

W_m: peso de la muestra

W_s: 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 CAPSULA (gr)	PESO CAPSULA + MUESTRA (gr)	PESO MUESTRA SIN CAPSULA (gr) (Wm)	PESO SECO CON CAPSULA (gr)	PESO SECO SIN CAPSULA (gr) (Ws)	W = ((Wm - Ws) / Ws)*100
15 A 20							
20 A 30							
25 A 35							
						LL % =	

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

IP = INDICE DE PLASTICIDAD	IP=LL-LP		
-----------------------------------	-----------------	--	--



CLASIFICACION DE ACUERDO CON EL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

Observaciones:

Anexo G; 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

1. cuarteo: se divide la muestra en 4 partes aproximadamente iguales, 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.

2. Tamaño de la muestra: 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

• 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.

3. 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.

4. 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.



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

- Se mide con exactitud 100g de material que pasa el tamiz de 2,00mm(No10), si el suelo es arenoso, o 60g si el suelo es arcilloso o limoso. Se coloca en el vaso de precipitados y se añade lentamente, almismo tiempo se agita unos 125cm³ 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 74µm (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.

CÁLCULOS Y RESULTADOS



**ANALISIS GRANULOMETRICO DE
SUELOS POR TAMIZADO**

Localización:

Fecha y hora:

Clima

:

Nº Muestra:

Descripción:

Espesor de la capa orgánica:

PESO:

TAMIZ ICONTEC Nº	TAMIZ ICONTEC (mm)	PESO TAMIZ g	PESO TAMIZ + SUELO	MASA RETENIDA g	% RETENI DO	% 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:						



Anexo H; Métodos de ensayos para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1527

RESUMEN

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 contienen 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.)



MUESTRA

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 prescrita 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

1. 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 plastina 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 $\frac{1}{2}\%$ 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 continua 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 fue obtenida antes o después del ensayo de compresión.
2. 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.
3. Llenar la hoja de datos.



4. CÁLCULOS

1. Para una carga aplicada debe calcular la deformación unitaria axial , ϵ_1 , hasta el 0.1% más próximo, mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

ΔL = cambio de longitud del espécimen leído en el indicador de deformaciones (mm).

L_0 = longitud inicial del espécimen (mm).

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

$$A = A_0 / (1 - \epsilon_1)$$

Donde:

A_0 = promedio del área de la sección transversal inicial del espécimen (mm²).

ϵ_1 = deformación unitaria axial para una fuerza aplicada, %.

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

$$\epsilon_c = P / A$$

Donde:

P = carga aplicada en KPa.

A= área transversal promedio correspondiente (mm²)

4. 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 .



5. 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:

Fecha y hora:

Clima:

Nº Perforación:

Descripción:

Espesor de la capa orgánica:

Profundidad:

Def. (10 ⁻³ pul)	Def. unitaria (Cm)	1-def. unitaria (Cm)	Carga			Area corregida	Resistencia Kg/cm ²
			Lec. Dial	(lg)	Kg		

MEDIDAS DE LA MUESTRA		CONTENIDO DE AGUA		PESOS UNITARIOS (Gr/cm ³)		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		
Area (cm ²)		Recipiente (gr)				
Vol. (cm ³)		Humedad (%)		CONST. ANILLO DE CARGA=		Y= 0,3737 x- 6,8616

Observaciones:



Anexo I; Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1917

RESUMEN DEL METODO 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 preparan los 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.)

PROCEDIMIENTO

Se arma la caja de corte.

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

Se corta el espécimen.

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.

$$T_f = 50 T_{50}$$

Donde:

T_f : 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 le desplazamiento a partir de la siguiente ecuación.

$$D_r = D_f / t_f$$

Donde:

D_r : velocidad de desplazamiento.

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

T_f : 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 enciende el aparato y se inicia el 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/cm²)

F: fuerza de corte (N, Kg)

A: area inicial del espécimen (cm²)

Esfuerzo normal sobre el espécimen.

$$\sigma_n = f / A$$

σ_n : esfuerzo normal (KPa, Kg/cm²)

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

1. 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.



Anexo J; Archivo magnético (CD).

Incluye el informe final en formato digital, registro fotográfico de la zona, resultados de laboratorios, base de datos climatológica, resumen técnico de la norma, laboratorios de corte directo y resultados PC-STABLE.

