

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.



HECTOR DAVID GUZMAN WALTEROS
LUIS FERNANDO MOLINA OSPINA

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

HECTOR DAVID GUZMAN WALTEROS
LUIS FERNANDO MOLINA OSPINA

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

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por encima de todas las cosas y a cada una de las personas que nos acompañaron durante este proceso de formación, que de una u otra manera han sido como fuertes pilares dentro de este largo recorrido, tratando de cruzar el caudaloso río del conocimiento.



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
2. FORMULACIÓN	13
3. OBJETIVOS.....	14
3. 1. OBJETIVO GENERAL.....	14
3. 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. JUSTIFICACIÓN.....	15
5. ANTECEDENTES.....	17
6. MARCOS DE REFERENCIA.....	34
6. 1. MARCO TEÓRICO.....	34
6. 1. 1 El contenido de humedad de los suelos.	38
6. 1. 2 Límites de atterberg.....	40
6. 1. 2. 1 Estados de consistencia.....	41
6. 1. 3 Granulometría de los suelos	44
6. 1. 4 Ensayo corte directo	47
6. 1. 5 Compresión simple	47
6. 1. 6 Relaciones volumétricas y gravimétricas.	48
6. 1. 7 Evapotranspiración En Los Suelos.	53
6. 1. 8 Infiltración en los suelos.....	55
6. 1. 9 Gravedades especifica	59
6. 1. 10 Sistema unificado de clasificación de los suelos (USCS).	61
6. 2. MARCO CONCEPTUAL.....	62
6. 3. MARCO LEGAL	65
7. DISEÑO METODOLÓGICO	68
7. 1 TIPO DE ESTUDIO	68
7. 1. 1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	68
7. 2 DESCRIPCION DEL AREA GENERAL DE ESTUDIO.....	69



7. 2. 1 Aspectos geológicos	69
7. 2. 2 Uso y cobertura actual del suelo.....	74
7. 2. 3 Forma de la pendiente.....	76
7. 2. 4 Columna estratigráfica generalizada del área de estudio.....	76
7. 2. 5 Identificación del comportamiento sísmico de la zona.....	78
7. 2. 6 Descripción hidro-climatológica del área de estudio.....	79
7. 3. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	82
7. 3. 1 Características fisiográficas y de ocupación del entorno.....	83
7. 3. 2 Proceso para la toma de muestras alteradas	86
7. 3. 3 Procedimiento para la toma de muestras inalteradas.....	90
8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	92
8. 1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL TALUD UBICADO EN EL COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA DE LA CIUDAD DE PEREIRA.....	92
8. 1. 1 Muestras alteradas	92
8. 1. 2 Muestras inalteradas parámetros geomecánicos (perforación con tubos shelby)	103
8. 2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.....	107
8. 3 BASE DE DATOS CLIMATOLÓGICOS.....	108
8. 4. POSIBLES VARIACIONES ENTRE PARÁMETROS FÍSICO-MECÁNICOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....	117
8. 4. 1 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.....	118
8. 4. 2 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.....	121
8. 4. 3 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.....	124



8. 4. 4 Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación.....	129
9. CONCLUSIONES	131
10. RECOMENDACIONES.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	136
ANEXOS.....	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Detalle de deslizamiento superficial en talud estabilizado	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 2. Formación de los suelos derivados de cenizas volcánicas.....	¡Error!
Marcador no definido.	
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.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4. Mapa de unidades litológicas del municipio de Pereira.	73
(Tomado de CARDER, Proyecto para el diagnostico de riesgos ambientales municipio de Pereira 2004)	73
Figura 5. Mapa del municipio de Pereira usos y cobertura del suelo.....	75
Figura 6. Talud De Estudio Forma De La Pendiente	76
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.....	78
Figura 8. Mapa de microzonificación sísmica municipio de Pereira.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 9. Fotografía aérea del lugar de la investigación.	82



Figura 10. Fotografía tomada en el lugar de la investigación.	82
Figura 11. Fotografía aérea del COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA.....	84
Figura 12. Fotografía aérea del proyecto de la calle 50.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13. Vista en planta talud COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA de Pereira	85
Figura 14. Perfil general COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA de Pereira	85
Figura 15. Perfil general COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA de Pereira	86
Figura 16. Proceso Mediante el cual se extrae la muestra inalterada.....	86
Figura 17. Fotografía del proceso y embalaje de la muestra	87
Figura 18. Secado de la muestra a temperatura ambiente.	87
Figura 19. Muestras después de ser sacadas del horno	88
Figura 20. Muestra secada y lista para ser sometida a los ensayos.....	88
Figura 21. Muestra sometida al ensayo de casa grande.	89
Figura 22. Muestra sometida al ensayo de tamizado.....	89
Figura 23. Obtención de las muestras inalteradas.....	90
Figura 24. Embalaje de la muestra inalterada para ser llevada al laboratorio	90
Figura 25. Máquina para realizar ensayo de compresión simple.....	91
Figura 26. Proceso de lavado de la muestra en el tamiz # 200.	91
Figura 27. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad mañana.....	119
Figura 28. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad tarde.....	120
Figura 29. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humedad mañana.	122
Figura 30. Correlaciones precipitacion acumulada mensual vs contenido de huemdad tarde.....	123
Figura 31. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana.	125



Figura 32. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad tarde.....	126
Figura 33. Correlaciones precipitación Vs evapotranspiración. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 34. Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación.....	129
Figura 35. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 36. Resultado de la prueba estática bajo condiciones críticas..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 37. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales sondeo 2. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 38. Resultado de la prueba estática bajo condiciones críticas sondeo 2. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 39. Resultado de la prueba estática bajo condiciones normales sondeo1. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 40. Resultado de la prueba pseudo estática bajo condiciones críticas sondeo1. ¡Error! Marcador no definido.	



LISTA DE TABLAS

Tabla 2. Registro histórico de deslizamientos en el municipio de Pereira.	15
Tabla 3. Microfábrica De arcillas y propiedades geotécnicas	32
Tabla 4. Propiedades físicas y generalidades de las alófanos	33
Tabla 6. Resultados de laboratorio mes de marzo jornada de la mañana.	93
Tabla 8. Resultados de laboratorio mes de marzo jornada de la tarde.....	94
Tabla 10. Resultados de laboratorio mes de abril jornada de la mañana.	95
Tabla 12. Resultados de laboratorio mes de abril jornada de la tarde.....	96
Tabla 14. Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la mañana.	97
Tabla 16. Resultados de laboratorio mes de mayo jornada de la tarde.....	98
Tabla 18. Resultados de laboratorio mes de junio jornada de la mañana.	99
Tabla 20. Resultados De laboratorio mes de junio jornada de la tarde.....	100
Tabla 22. Resultados de laboratorio mes de julio jornada de la mañana.....	101
Tabla 24. Resultados de laboratorio mes de julio jornada de la tarde	102
Tabla 30. Resultados de laboratorio primera perforación mes de marzo de 2011.	103
Tabla 31. Resultados de laboratorio segunda perforación mes de abril de 2011.	103
Tabla 32. Resultados de laboratorio tercera perforación mes de mayo de 2011.	104
Tabla 33. Resultados de laboratorio cuarta perforación mes de mayo de 2011. .	104
Tabla 34. Resultados de laboratorio quinta perforación mes de junio 2011.	105
Tabla 34. Resultados de laboratorio quinta perforación mes de julio 2011.....	105
Tabla 35. Resumen estadístico de los parámetros geomecánicos de las muestras inalteradas.	106
Tabla 36. Perfil estratigráfico general	107
Tabla 37. Bese de datos estación climatológica parque el lago mes de Marzo de 2011.....	109
Tabla 38. Bese de datos estación climatológica parque el lago mes de Abril de 2011.....	110



Tabla 39. Resultados base de datos estación climatológica parque el lago mes de Mayo de 2011.	111
Tabla 40. Resultados base de datos estación climatológica parque el lago mes de Junio de 2011.	112
Tabla 41. Resultados base de datos estación climatológica parque el lago mes de Julio de 2011.....	113
Tabla 42. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica parque el lago Mes De Agosto De 2011.....	114
Tabla 43. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica parque el lago Mes De Septiembre De 2011.	115
Tabla 44. Resultados Bese De Datos Estación Climatológica parque el lago Mes De Octubre De 2011.....	116
Tabla # 46. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	118
Tabla # 47. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	121
Tabla # 48. Base de datos de lluvia acumulada, contenido de humedad mañana y tarde.....	124
Tabla # 49. Tabla de datos lluvia acumulada quincenal, mensual y cuarenta y cinco días con contenido de humedad.....	128
Tabla # 51. Datos obtenidos de saturación, contenido de humedad y precipitación.	129
Anexo A; Registro fotográfico del entorno y proceso de laboratorios.	140
Anexo C; Resultados de laboratorio corte directo sondeo 1. ¡Error! Marcador no definido.	
Anexo D; resultado de laboratorio corte directo sondeo 2. ¡Error! Marcador no definido.	
Anexo E; Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa.....	144



Anexo F; Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y los índices de plasticidad de suelos cohesivos	147
Anexo G; Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.	154
Anexo H; Métodos de ensayos para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos.	158
Anexo I; Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas	165
Anexo J; Archivo magnético (CD).	172

LISTA DE ANEXOS

Anexo A; Registro fotográfico del entorno y proceso de laboratorios.	140
Anexo C; Resultados de laboratorio corte directo sondeo 1. ¡Error! Marcador no definido.	
Anexo D; resultado de laboratorio corte directo sondeo 2. ¡Error! Marcador no definido.	
Anexo E; Ensayo para determinar el contenido de humedad de suelos y rocas, con base en la masa.....	144
Anexo F; Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y los índices de plasticidad de suelos cohesivos	147
Anexo G; Ensayo para determinar la granulometría por tamizado.	154
Anexo H; Métodos de ensayos para determinar la resistencia a la compresión inconfiada de suelos cohesivos.	158
Anexo I; Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas	165



Anexo J; Archivo magnético (CD).....172

INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca entender de una marea clara el comportamiento de los taludes compuestos por cenizas volcánicas, debido a que la zona cafetera está cerca a lugares de gran actividad volcánica y gracias a esto los suelos de estas regiones presentan gran contenido de cenizas. Risaralda al estar situada en un lugar propicio para que estos residuos se depositen, se debe tener claro el comportamiento de este tipo de suelos para que los diseños que se ejecuten dentro de la región tengan un buen desempeño a la hora de ponerlos en prueba, ya que es momento de tomar medidas preventivas y no correctivas, pues estamos entrando en un momento en el que los altibajos climatológicos hacen que en época de lluvias los taludes se reacomoden generando deslizamientos que hasta la fecha ha cobrado la vida de cientos de personas y dejando damnificados a miles de familias a lo largo del territorio nacional. Se busca que este estudio aporte información importante para la toma de decisiones.

Este estudio se realiza en un periodo de 6 meses ininterrumpidos de toma de muestras en un talud ubicado en la ciudad de Pereira (COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA), de tal manera que se pueda llevar a un laboratorio y realizarle los estudios pertinentes para encontrar sus propiedades físicas y mecánicas y así poder clasificarlas dentro de un tipo de suelo. Al hacer un monitoreo constante se puede determinar su comportamiento mecánico a través del paso del tiempo y llegar a determinar si es un talud estable el cual no requiere de ningún trabajo para contener su estado, o por el contrario se debe intervenir de manera rápida para



evitar alguna consecuencia que afecte el desarrollo normal no solo de la institución sino que afecte la normal circulación del flujo vehicular.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Pereira gracias a su ubicación geográfica rica en accidentes topográficos y ubicada en el centro del eje cafetero se encuentra dentro del abanico aluvial entre Pereira y Armenia; además de esto cuenta con una espesa capa de suelos producto de materiales derivados actividades volcánicas (cenizas volcánicas); con una precipitación promedio anual entre los 2200 y 2400 mm/año (según datos del IDEAM) y es 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
Lugares afectados

Infraestructura vial y taludes	5 puentes
	9 tramos viales
	167 taludes
	Talud Bocatoma

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

Tal susceptibilidad ha sido evidente a través de los tiempos, y en particular ante la ocurrencia de fenómenos como precipitaciones extremas y/o sismos. El territorio municipal ha sido afectado por la ocurrencia de numerosos deslizamientos que han sido altamente impactantes y destructivos, generando caos institucional y



onerosas cargas económicas en los procesos de atención, recuperación, control y estabilización de sitios y comunidades afectadas, tal como lo evidencia el registro histórico de desastres de la ciudad (OMPAD, 2002) y la ficha de afectación del sismo del 25 de enero de 1999.

Las cenizas volcánicas son generadas a partir de la fragmentación del magma y de materiales en el cono del volcán provenientes de erupciones anteriores. 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 ovesicular. 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.

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. Las erupciones húmedas (agua parcialmente consumida) llevan a capas de cenizas de bajo espesor. 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. 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. 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 de depositación. Adicionalmente, las partículas más finas 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.

Los 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). 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. Los mecanismos de disolución 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.



2. FORMULACIÓN

A partir de las anteriores premisas, y una vez argumentada la potencial relación que existe entre parámetros geo mecánicos 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 cortos (6 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 geo mecánicos de taludes conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas en el talud ubicado en el costado del Colegio Deogracias Cardona.
- 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 COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA.
- Configurar una base de datos climatológica local que permita establecer relaciones entre las diferentes variables a evaluar.
- Establecer las relaciones existentes entre parámetros físico-geo mecánicos clásicos y la variabilidad climática en períodos cortos (6 meses), en taludes conformados por cenizas volcánicas y/o suelos residuales de cenizas volcánicas en el talud ubicado en el Costado del Colegio Deogracias Cardona.

4. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con la información recopilada de las entidades municipales y estatales tenemos un listado de eventos que han ocurrido en un periodo de 105 años desde el año 1900 en la ciudad de Pereira, según dichas entidades se tiene un total de 379 eventos del tipo deslizamientos que de una u otra forma impactaron no solo el municipio sino también la región tanto en su parte social como en su infraestructura. Adicionalmente a esto se han generado enormes secuelas sobre el desarrollo local y regional.

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	\$36.372.274

Fuente: OMPAD Pereira (Registro histórico de desastres)

Estos continuos eventos han obligado a las autoridades a tomar medidas y a invertir recursos tanto económicos como humanos para encontrar la manera de entender el comportamiento del subsuelo y poder determinar la ocurrencia de dichos eventos y de esta manera dirigir los recursos del municipio a la prevención más que a la corrección o indemnización de las personas perjudicadas con los movimientos de los taludes.

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.



Dando una mirada a los archivos de la ocurrencia de los eventos ocurridos en la región estos tienen consignados grandes sumas invertidas en la adecuación y estabilización de recursos y con ayuda de grandes sismos que hacen que los taludes menos estables pierdan su equilibrio natural y se acomoden de manera que se puedan contener. Solo teniendo en cuenta el tan recordado sismo del 25 de enero de 1999 se llevó a tomar una decisión conjunta entre la corporación autónoma regional de Risaralda y la administración municipal a dirigir gran parte de sus programas y acciones de estabilización de laderas y taludes con el único propósito de salvaguardar la vida y bienes de los ciudadanos. No obstante este invaluable esfuerzo de las autoridades locales y la CARDER, la ocurrencia de deslizamientos sigue siendo uno de los factores generadores de riesgo de mayor relevancia e impacto en el escenario urbano local y metropolitano.

De todo esto resulta la inquietud tanto técnica como académica, que interesa no sólo a la Administración Municipal, sino también a instituciones como la CARDER y las Universidades locales (UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, CORPORACIÓN UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA, CORPORACIÓN UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO, entre otras), en tratar de tocar la problemática asociada a la ocurrencia de deslizamientos en el ámbito local, como un tema de desarrollo local en el que puedan concurrir intereses públicos, académicos y científicos, a partir de los cuales se puedan dinamizar temáticamente el PLAN LOCAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DEL MUNICIPIO DE PEREIRA, los procesos investigativos de ciudad liderados por las instituciones académicas y la generación de insumos y herramientas técnico-científicas que tiendan a mejorar el conocimiento y diagnóstico de las condiciones geotécnicas de los materiales derivados de cenizas volcánicas y consecuentemente, fortalecer los programas de reducción de factores generadores de riesgo y de alertas tempranas por la potencial ocurrencia de deslizamientos en el territorio municipal.



5. ANTECEDENTES

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

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

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

Plasticidad

En el caso de algunos terrenos húmedos, la plasticidad es la propiedad que les permite ser moldeados aplicándoles fuerzas externas, y mantener las formas adquiridas, aun cuando la humedad y las fuerzas externas desaparezcan. Según Atterberg se pueden definir dos límites de plasticidad, el máximo y el



mínimo. Con porcentaje de humedad por encima del límite máximo de plasticidad, la masa terrosa adquiere fluidez y pierde su capacidad de mantener la forma, y si el terreno tiene un porcentaje de humedad por debajo del límite mínimo de plasticidad, la masa terrosa se vuelve quebradiza, y no se puede moldear. Es evidente que no todos los suelos tienen la misma plasticidad; las arenas y los limos tienen una plasticidad baja o muy baja, mientras que suelos con alto contenido de arcillas tienen una plasticidad mayor. En línea general puede afirmarse que terrenos con un contenido de arcilla inferior al 15% no son plásticos.

Para cada uno de los límites de plasticidad, el máximo y el mínimo, corresponde, en función del terreno, un porcentaje de humedad, la diferencia entre los dos porcentajes de humedad límites de llama número o índice de plasticidad. Tanto los límites de plasticidad como también el correspondiente número de plasticidad o índice de plasticidad varían, obviamente de terreno a terreno, en función principalmente de la textura y más precisamente del contenido de coloides inorgánicos.

Otro factor importante que influencia la plasticidad es el tipo de cationes disponibles. Generalmente el ion K^+ disminuye los dos límites de plasticidad y el índice de plasticidad, mientras que el ion Na^+ disminuye los límites de plasticidad, pero aumenta el índice de plasticidad; los cationes Mg^{++} y Ca^{++} aumentan la plasticidad, pero los terrenos saturados con ellos requieren una cantidad elevada de agua para alcanzar el estado de plasticidad, al contrario de los saturados con cationes de K^+ . El efecto de hidratación y de dispersión del Na^+ determina una plasticidad de los suelos saturados con este catión mayor de la que alcanzan los terrenos saturados con cationes bivalentes.

Generalmente, la influencia de los diversos cationes sobre la plasticidad varía con la calidad y la naturaleza de la arcilla.

La materia orgánica contenida en el suelo también tiene un efecto importante en la plasticidad de los suelos. En general los estratos superiores del suelo tienen una



plasticidad mayor que los estratos más profundos. Esto puede atribuirse a la mayor presencia de material orgánico en las capas superiores del terreno.

Expansibilidad y compresibilidad

La expansibilidad de suelos es una propiedad física de los suelos que puede evaluarse en una cimentación. En las estructuras constructivas existe hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando la disminuye.

Debe distinguirse el término "potencial de expansión", de la "expansión" de acuerdo de donde proviene dicha pérdida de agua. Las arcillas expansivas producen empujes verticales y horizontales afectando las cimentaciones, empujando muros y destruyendo pisos y tuberías enterradas, con esfuerzos que superan los 20 kg/cm², ocasionalmente. En las vías se presentan ascensos y descensos que afectan su funcionamiento. También, estos suelos expansivos se retraen y los taludes fallan.

Se denomina consolidación de un suelo a un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Producen asientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romper si se producen con gran amplitud

Propiedades de las arcillas secas

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- * Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 mm)
- * Su morfología laminar (filosilicatos)



* Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades geológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

- **Superficie específica**

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:



Caolinita de elevada cristalinidad hasta 15 m²/g

Caolinita de baja cristalinidad hasta 50 m²/g

Halloisita hasta 60 m²/g

Illita hasta 50 m²/g

Montmorillonita 80-300 m²/g

Sepiolita 100-240 m²/g

Paligorskita 100-200 m²/g

- **Capacidad de Intercambio catiónico**

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- * Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- * Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- * Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica. Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina.

A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meq/100 g):



Caolinita: 3-5
Halloysita: 10-40
Illita: 10-50
Clorita: 10-50
Vermiculita: 100-200
Montmorillonita: 80-200
Sepiolita-paligorskita: 20-35

- **Capacidad de absorción**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

- **Hidratación e hinchamiento**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmeclitas, y cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia



del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectita, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

- **Plasticidad**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas.

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento.

Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos



de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Jiménez Salas, et al., 1975).

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

- **Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

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



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

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

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



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

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

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

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

Por otra parte, durante los períodos húmedos, caracterizados por lluvias permanentes e intensas, el agua infiltrada reduce los efectos capilares y ocasiona cambios volumétricos que pueden llevar al hinchamiento o colapso de la estructura del suelo. En general, estos cambios son tridimensionales pero no



necesariamente isotrópicos, debido a que la conductividad hidráulica es predominantemente anisotrópica en suelos naturales. Las grietas pre-existentes 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 remolde 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 remolde 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 remolde 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. Micro fábrica 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 sobre consolidadas Planos de discontinuidad en profundidad
Laminar u orientada	Muy baja	Dependiente de la orientación	No	No	Planos de rotura según orientaciones preferentes Presencia de discontinuidades profundas
Panal de abeja	Alta	Alta en estado inalterado. Muy baja en estado remoldeado	Posible	Muy alta	Suelos inestables con formación de deslizamientos tipo flujo Arcillas rápidas
Esqueletal	Muy alta	Baja	Posible	Alta	Suelos meteorizados y residuales Rápida alteración en taludes Suelos inestables
Oolítica o nodular	Baja	Alta	Baja	Alta	Anomalías en los resultados de los ensayos de identificación y en otras propiedades de los suelos tropicales

Fuente: Ingeniería Geológica (página 99)

Forero Dueñas (1999), en el estudio de la estructura de las cenizas volcánicas de Armenia y su relación con el comportamiento geotécnico, concluye en lo relacionado a los suelos alofánicos y su estructura: “como se mencionó anteriormente el difícil manejo que presentan los suelos alofánicos y su amplia distribución en la región andina que es donde se asienta la mayor parte de la población de nuestro país, lo hace objeto ineludible e interesante de estudio por



parte de los investigadores de suelos y especialistas en el área de ingeniería civil, ya que debido a comportamiento se ubican como un grupo de manejo especial” y las cenizas volcánicas son parte de los suelos alofánicos, término genérico que en la literatura mundial hace referencia a aluminosilicatos hidratados no cristalinos “estomateriales 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 alófanas

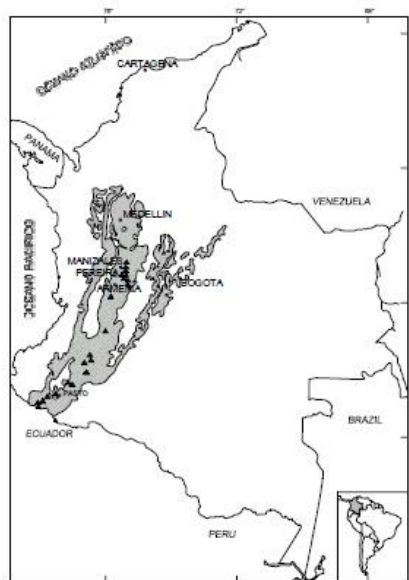
PROPIEDAD	CARACTERÍSTICA Y/O VALOR
Dureza	3
Raya	Blanca
Color	blanco, verde azul, amarillo, pardo
Transparencia	transparente, translúcido
Brillo	vítreo, graso, céreo
Exfoliación	no tiene
Fractura	Concoidea
Morfología	costras, estalactitas
Densidad	1,9
Sistema cristalino	no se conoce
Luminiscencia	blanca, 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 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 siguiente ilustración muestra la distribución de los suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia y la ubicación de los principales volcanes.

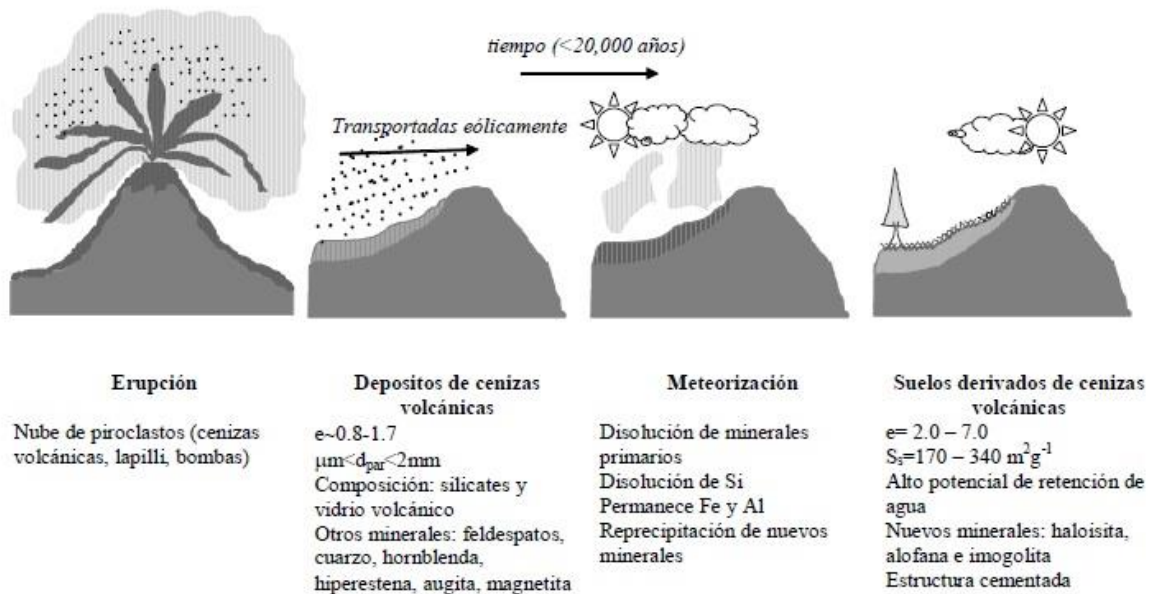


Distribución espacial de los volcanes (▲) y de los suelos derivados de cenizas volcánicas (área achurada) en Colombia (modificado de IGAC, 1995). Cerca del 12% del territorio nacional está cubierto por estos suelos.

FORMACIÓN

El proceso de formación de los suelos de cenizas volcánicas se presenta en la siguiente ilustración. Éste proceso inicia con la generación de una nube de piro

clastos durante la erupción volcánica, conformada por partículas de diámetro inferior a 2mm, 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.



Las cenizas volcánicas son generadas a partir de la fragmentación del magma y de materiales en el cono del volcán provenientes 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 ovesicular. 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 (aguaparcialmente 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 depósito. 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 depósito 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 de depósito. Adicionalmente, las partículas más finas ($< 20 \mu m$) 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 cálcica; 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 que 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; Nanzoy, 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.

6. 1. 1 El contenido de humedad de los suelos.

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

El proceso de la obtención del contenido de humedad de una muestra se hace en laboratorios, el equipo de trabajo consiste en un horno donde la temperatura



pueda ser controlable. Una vez tomada la muestra del sólido en estado natural se introduce al horno. Ahí se calienta el espécimen a una temperatura de más de 100 grados Celsius, para producir la evaporación del agua y su escape a través de ventanillas. Se debe ser cuidadoso de no sobrepasar el límite, para no correr el riesgo de que el suelo quede quemado con la alteración del cociente de la determinación del contenido de humedad. El material debe permanecer un periodo de doce horas en el horno, por esta razón se acostumbra a iniciar el calentamiento de la muestra de suelo al final del día, para que así se deshidrate durante toda la noche.

Cumplidas ya las 12 horas de secado de la muestra de tamaño normal se procede a retirar y pesar, para así obtener el peso del suelo seco. El peso del agua será la diferencia entre el peso de la muestra en estado natural y la muestra seca de suelo. Ya se cuenta con los valores necesarios para la obtención del contenido de humedad, en caso de tener mucha prisa en la obtención de resultados de ensayo, la muestra podría ser retirada del horno al cabo de cinco o seis horas para así pesarla, luego se introduciría de nuevo al horno y se compararía con este peso con el obtenido a las seis horas de secado. Si no se obtiene ninguna diferencia, podría utilizarse este valor como el peso seco de dicha muestra de suelo. (Escrito por: M. A. Heredia, www.arqhys.com)

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \left\{ \frac{m_1 - m_2}{m_1} \right\} * 100 .$$

m1 = Masa de la muestra recién extraída.

m2= Masa de la muestra después de estar en el horno.

(Tomado del Wikipedia)



6. 1. 2 Límites de Atterberg

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

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir 4 estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Los ensayos se realizan en el laboratorio y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ello se forman pequeños cilindros de 3mm de espesor con el suelo. Siguiendo estos procedimientos se definen tres límites:

Límite líquido: Cuando el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

Límite plástico: Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite de retracción o contracción: Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

Relacionados con estos límites, se definen los siguientes índices:

Índice de plasticidad: I_p ó $IP = w_l - w_p$

WL: limite líquido

Wp: limite plástico



6. 1. 2. 1 Estados de consistencia

La consistencia: es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto. Dichas fuerzas dependen del contenido de humedades por esta razón que la consistencia se debe expresar en términos de seco, húmedo y mojado.

Se refiere a las fuerzas que permiten que las partículas se mantengan unidas; se puede definir como la resistencia que ofrece la masa de suelo a ser deformada o amasada.- Las fuerzas que causan la consistencia son: cohesión y adhesión.

Cohesión: Esta fuerza es debida a atracción molecular en razón, a que las partículas de arcilla presentan carga superficial, por una parte y la atracción de masas por las fuerzas de Van der Waals, por otra (Gavande, 1976)... Además de estas fuerzas, otros factores tales como compuestos orgánicos, carbonatos de calcio y óxidos de hierro y aluminio, son agentes que integran el mantenimiento conjunto de las partículas.

La cohesión, entonces es la atracción entre partículas de la misma naturaleza.

Adhesión: Se debe a la tensión superficial que se presenta entre las partículas de suelo y las moléculas de agua. Sin embargo, cuando el contenido de agua aumenta, excesivamente, la adhesión tiende a disminuir. El efecto de la adhesión es mantener unidas las partículas por lo cual depende de la proporción Agua/Aire.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto se puede afirmar que la consistencia del suelo posee dos puntos máximos; uno cuando está en estado seco debido a cohesión y otro cuando húmedo que depende de la adhesión.

Limite Plástico: Se puede llamar una tira cilíndrica cuya finalidad es hacer una pasta de suelo con agua luego es amasada hasta crear o formar un cilindro de 10cm x 0.5cm el grosor.

Después fragmentar con una espátula, lo cual consiste en reunir los fragmentos y empezar en el número 2. Determinar la cantidad de humedad en 105°C Para



evaporarse, es decir el cambio de consistencia de friable a plástica. Luego se debe aplicar la siguiente formula:

$$PW = (Psh - Pss) / Pss \times 100$$

Donde:

PW = Contenido de Humedad.

Psh = Peso de Suelo Húmedo.

Pss = Peso de Suelo Seco.

Límite Líquido: En este límite el contenido de humedad (PW) en la película de agua se hace tan gruesa que la cohesión decrece y la masa de suelo fluye por acción de la gravedad. Se realiza este proceso en la cazuela y se hace una pasta de suelo: Agua.

Colocar en la cazuela y realizar una ranura con una espátula trapezoidal para hacer una ranura por medio en dos golpear hasta que a los 20 – 25 golpes.

Índice de Plasticidad: Es un parámetro físico que se relaciona con la facilidad de manejo del suelo, por una parte, y con el contenido y tipo de arcilla presente en el suelo, por otra: Se obtiene de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico:

$$IP = LL - LP > 10 \text{ plástico.}$$

$$IP = LL - LP < 10 \text{ no plástico.}$$

Valores Menores de 10 indican baja plasticidad, y valores cercanos a los 20 señalan suelos muy plásticos.

Importancia agronómica: En la figura siguiente, se observa como el grado máximo de consistencia se alcanza en el rango seco debido a las fuerzas de cohesión; mientras que el máximo de adhesión se localiza dentro del rango húmedo.

Al comparar los dos "puntos máximos" se concluye que el relacionado con la adhesión, aunque origina un valor de consistencia menor en el rango húmedo es el estado óptimo para la realización de las labores agrícolas, puesto que el suelo no opone tanta resistencia como ocurre en el rango seco.

En los rangos donde el contenido de agua es mayor, mojado y saturado, el peligro radica en la degradación estructural por la poca resistencia que ofrece el suelo a su deformación con lo cual se corre el riesgo de "amasarlo" o compactarlo.

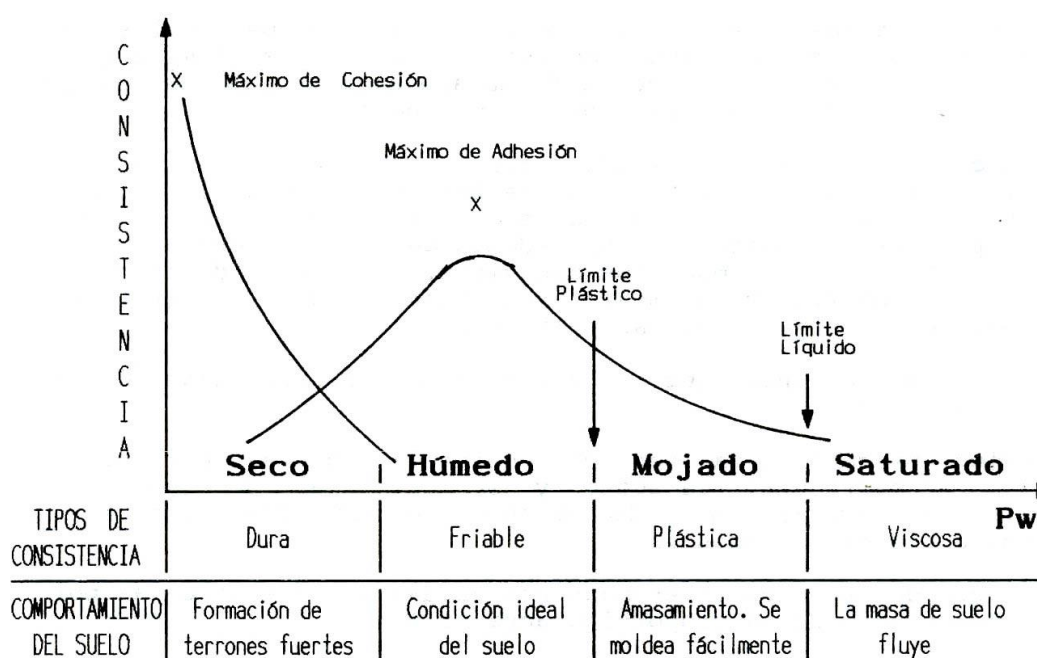


Figura: Variación de la Fuerza de cohesión y adhesión.

Límites de Atterberg

Al realizar un análisis del perjuicio que significa ejecutar labores agrícolas en un rango de humedad no adecuado, se debe tener en cuenta lo siguiente; la forma de consistencia friable es la condición que debe poseer el suelo para la labranza; cuando se sobrepasa ese contenido óptimo de humedad, el suelo pierde sus



condiciones naturales y puede adquirir una consistencia plástica o de amasamiento.

Atterberg, citado por Baver (1973), propuso dos límites de contenido de humedad (Pw)¹ en el que el suelo puede adquirir consistencias indeseables: Límite Plástico o Inferior, donde el suelo se moldea fácilmente por la acción de una fuerza; y Límite Líquido o Superior, donde adquiere un comportamiento de masa viscosa.

La determinación del Límite Plástico se obtiene amasando una porción de suelo y formando cilindros sobre una superficie pulida, luego se cortan en varios pedazos y se reúnen nuevamente para formar un nuevo cilindro. En el momento en que no se logre formar el cilindro se toma una porción a la cual se le determina el Pw. Este valor representa el contenido máximo de humedad que puede contener el suelo para pasar a una consistencia plástica.

La diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP) define el Índice de Plasticidad (IP).

$$IP = LL - LP$$

Valores inferiores a 10 indican baja plasticidad, especialmente en el rango menor de 5; índices superiores a 10 y cercanos a 20 indican alta plasticidad (Malagon, 1983).

6. 1. 3 Granulometría de los suelos



Se denomina clasificación granulométrica o granulometría, a la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

El método de determinación granulométrico más sencillo es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramado (a modo de coladores) que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices. Pero para una medición más exacta se utiliza un granulómetro láser, cuyo rayo difracta en las partículas para poder determinar su tamaño. O también se pueden utilizar los rayos gamma.

Para su realización se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (suelo o sedimento mezclado) y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices (Conservación de la Masa).

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

Dimensión de la partícula elemental (mm)	Attemberg – (Sistema Internacional)	U.S. Dep. De Agricultura	Ex – U.R.S.S.
<0,001	Arcilla	Arcilla	Arcilla
<0,002			Limo fino
0,005	Limo	Limo	Limo medio
0,01			Limo grueso
0,02			Arena muy fina
0,05	Arena fina	Arena fina	Arena fina
0,1		Arena fina	Arena media
0,25		Arena gruesa	
0,2	Arena gruesa	Arena gruesa	Arena gruesa
0,5		Arena muy gruesa	
1,0		Grava fina	Grava fina
2,0	Grava	Grava	
3,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras
5,0			
10,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras
20,0			
>20,0			



Clasificación de los suelos usada en diferentes países.



6. 1. 4 Ensayo corte directo

- Este método describe y regula el método de ensayo para la determinación de la Resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida previamente a un proceso de consolidación, cuando se le aplica un esfuerzo de corte directo mientras se permite un drenaje completo de ella. El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca a un plano de corte directo determinado por la configuración del aparato de corte directo. Generalmente se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

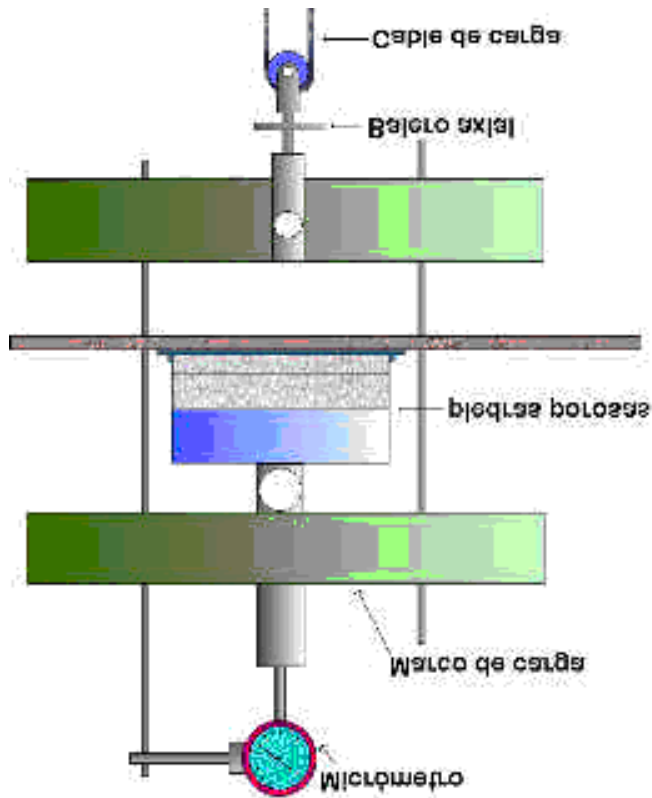
6. 1. 5 Compresión simple

Los ensayos de compresión simple de los suelos, aunque muy parecidos a las pruebas triaxiales rápidas, no se clasifican como tal. En esta prueba los esfuerzos exteriores son nulos, pero existen en la estructura del suelo esfuerzos efectivos no muy bien definidos, debido a tensiones capilares (u) en el agua contenida por el suelo mismo.

La prueba se realiza aplicando un esfuerzo axial a una muestra de suelo, obviando la etapa de presión hidrostática y solo aplicando la etapa de carga que conduce el suelo o muestra a la falla.

Considerando que el estado de la muestra en un primer momento es de esfuerzos totales nulos y que el agua soporta toda la presión de pre consolidación, la tensión que producirá el agua será la necesaria para que la muestra conserve su volumen. Luego de esta etapa se lleva la muestra a la falla aplicándole esfuerzo axial (q_u), de forma que podamos medir la resistencia, a causa del aumento de esfuerzo axial aumenta la presión neutral a u_2

La prueba depende del equipo de carga disponible en el laboratorio, un ejemplo de estos puede ser el EXTENSOMETRO O MICROMETRO (ver grafica).



La prueba debe durar de 5 a 10 minutos, aplicando una carga en incrementos a cada minuto de 1/5 a 1/10 según la carga de falla estimada.

En pruebas con deformación controlada deberá trabajarse con una velocidad tal que la prueba dure el mínimo tiempo señalado

6.1.6 Relaciones volumétricas y gravimétricas.

Lo suelto o lo compacto de una muestra de suelo puede determinarse cuantitativamente en el laboratorio. Los términos porosidad, relación de vados, y el

peso específico relativo de los sólidos se usan comúnmente para definir la densidad de la muestra. La fig. 1.4 es un diagrama de una muestra de suelo en un recipiente sellado, con el aspecto que presentaría si fuera posible separar las fases sólida, líquida y gaseosa. El volumen de sólidos se designa por el símbolo V_s , el volumen de agua por V_w y el volumen de gas por V_g . Como la relación entre V_w y V_g cambia usualmente con las condiciones del agua en el subsuelo, así como bajo el efecto de las cargas aplicadas, es conveniente designar todo el volumen que no está ocupado por material sólido como volumen de vacíos, V_v . Si se designa el volumen total de la muestra por V , entonces la porosidad se define con la ecuación:

$$\text{Porosidad, } n = V_v / V$$

Usualmente, este valor se expresa como porcentaje. Cuando un suelo se comprime, cambian los valores de la ecuación anterior tanto del numerador como del denominador.

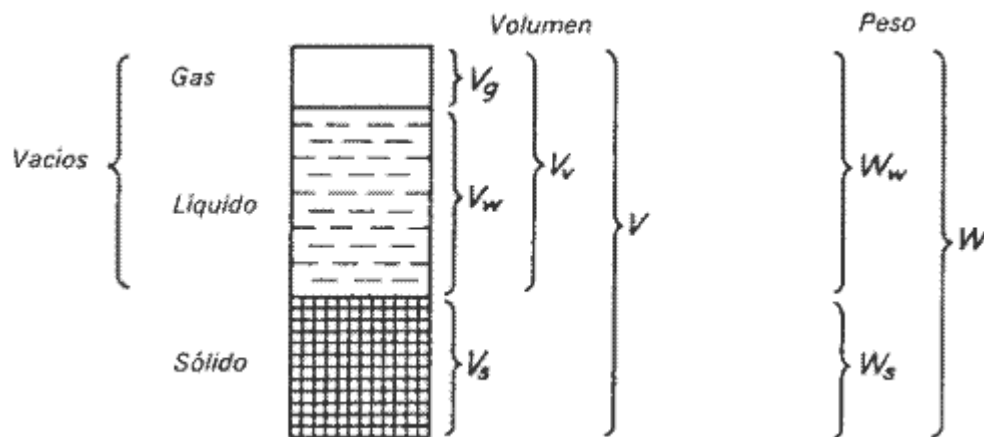


Diagrama de una muestra de suelo que ilustra el significado de los símbolos usados en relaciones gravimétricas y volumétricas.



Por lo que es conveniente en muchos de los cálculos que es necesario efectuar para determinar los asentamientos, referir el espacio vacío a un denominador invariable. Por esta razón se usa la cantidad conocida como relación de vacíos u oquedad. Se define como:

$$\text{Relación de vacíos, } e = V_v/V_s$$

Una de las propiedades índice más importantes de los suelos finos es el contenido de agua o humedad, w . Se define como:

$$\text{Humedad, } w(\%) = 100W_w/W_s$$

En esta ecuación, W_w es el peso del agua y W_s , es el peso de la materia sólida secada en el horno. El peso del agua se refiere a la cantidad invariable W_s . en vez de al peso total de la muestra. Al aumentar la temperatura de una mezcla de suelo y agua que se está secando, la mezcla continúa perdiendo humedad, hasta que a una temperatura relativamente elevada, los minerales que constituyen el suelo se descomponen y pierden el agua de constitución. Por esta razón, las comparaciones de humedades no tienen significado, a menos que la temperatura a la que se seca el suelo se estandarice. La temperatura estándar del horno es de 105° a 115°C.

Muchos suelos que se encuentran abajo del nivel del agua freática y algunos suelos finos que están arriba del mismo, se encuentran saturados. Sin embargo, los vacíos de la mayor parte de los suelos que están arriba del nivel del agua freática están llenos en parte de agua y en parte de aire. Incluso algunos suelos



sumergidos tienen una proporción importante de aire o de gas. El grado de saturación se define como:

Grado de saturación, Por lo tanto, cuando el grado de saturación es de 100 por ciento todo el espacio vacío está lleno de agua.

El peso por unidad de volumen o peso volumétrico γ es una de las propiedades físicas más importantes de un suelo. Por ejemplo, deberá conocerse para poder calcular la presión de tierra o la producida por sobrecargas.

Por definición:

Peso volumétrico, $\gamma = W/V$

En la que W es el peso total del suelo incluyendo el agua y V es el volumen total. Es conveniente indicar los valores especiales del peso volumétrico por medio de subíndices. Si el suelo está completamente saturado, es decir, si $V_g = 0$, su peso volumétrico se designa por γ_{sat} . Si el suelo está secado en el horno, su peso se indica con γ_d , llamándose peso volumétrico seco, y se define.

Peso volumétrico seco, $\gamma_d = W_s/V$

Si se conoce la humedad, puede calcularse el peso volumétrico seco de la siguiente manera:

$$\gamma_d = \frac{100W}{(100 + w)V} = \frac{100\gamma}{100 + w}$$

En estudios de compactación de suelos en ocasiones es útil calcular el peso volumétrico seco que se hubiera obtenido, si se hubiera disminuido el volumen de una muestra húmeda, expulsando el aire hasta que el grado de saturación de la muestra llegara al 100 por ciento. A este estado se le designa exento de huecos con aire.

Este peso volumétrico puede calcularse con la expresión: El peso volumétrico del suelo seco exento de huecos con aire,

$$\gamma_z = \frac{W_s}{V_w + V_s}$$

En la práctica, con frecuencia es inconveniente determinar directamente el valor de γ , midiendo el peso total y el volumen total. Es más común determinarlo indirectamente basándose en el conocimiento del peso volumétrico de los componentes sólidos γ_s . Esta cantidad se define como: Peso unitario de los componentes sólidos,

$$\gamma_s = W'_s/V_s$$

Frecuentemente, es preferible utilizar el peso específico relativo de los sólidos G ,



definidos como:

Peso específico relativo de los sólidos G ,

Definidos como:

Peso específico relativo de los sólidos.

$$G = \gamma_s / \gamma_w$$

donde γ_w es el peso volumétrico del agua, tomado como 1 g/cm³. El valor de γ_s , o G puede determinarse por pruebas en el laboratorio, pero puede estimarse usualmente con suficiente precisión. Para los cálculos de rutina, puede tomarse como 2.65 el valor de G para las arenas. Las pruebas efectuadas en gran número de suelos de arcilla han indicado que el valor de G usualmente está comprendido en el intervalo de 2.5 a 2.9 con un valor promedio de aproximadamente 2.7

6.1.7 Evapotranspiración En Los Suelos.

La evapotranspiración real es la tasa de transferencia de agua a la atmosfera 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. 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

6.1.8 Infiltración en los suelos.

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración. (Vélez et al, 2002).

Si se aplica agua a determinada superficie de suelo, a una velocidad que se incrementa en forma uniforme, tarde o temprano se llega a un punto en que la velocidad de aporte comienza a exceder la capacidad del suelo para absorber agua y, el exceso se acumula sobre la superficie, este exceso escurre si las condiciones de pendiente lo permiten.

Entonces la capacidad de infiltración conocida también como “infiltrabilidad del suelo” es simplemente el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica. Mientras la velocidad de aporte de agua a la superficie del suelo sea menor que la infiltrabilidad, el agua se infiltra tan rápidamente como es aportada, esto nos dice que la velocidad de aporte determina la velocidad de infiltración (o sea, el proceso es controlado por el flujo). Sin embargo existe también la posibilidad que la velocidad de aporte exceda la infiltrabilidad del suelo y en ese mismo momento ésta última es la que determina la velocidad real de infiltración; de ese modo el proceso es controlado por las características del perfil (Gurovich, 1985).

Muchos investigadores han tratado de modelar el fenómeno de infiltración, a través de formulaciones matemáticas usando algunos supuestos y simplificaciones entre los que se puede mencionar a Horton (1 933 - 1 939), Green y Ampt (1 911),



Kostiakov (1932), citados por Baver et al. (1973). Entre las fórmulas propuestas por estos investigadores, se destaca la ecuación de Kostiakov:

$$L = k * T^{\lambda n}$$

Donde:

L: es la lámina infiltrada.

T: es el tiempo.

k: es un parámetro que depende de la estructura y la condición del suelo en el momento en que se aplica el agua

(Gavande et al. 1972).

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 m² y 40 m². 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 hinca 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 escurrimiento, 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: $f = f_0 + (f_0 - f_b) e^{-K \cdot t}$

Donde:

f_0 : 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_0 , f_b y K están asociados a los suelos y a su cubierta vegetal. Se determina f_0 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. Ocasionalmente el valor de la gravedad específica puede utilizarse en la clasificación de los minerales del suelo, algunos minerales de hierro tienen un valor de gravedad específica mayor que los provenientes de sílica.

La gravedad específica de cualquier sustancia se define como el peso unitario del material en cuestión dividido por el peso unitario del agua destilada a 4°C. Así, se consideran solamente los granos del suelo se obtiene la gravedad específica (Gs)

La misma forma de ecuación se utiliza para definir la gravedad específica del conjunto, la única diferencia en esa definición es el peso específico del material. La gravedad específica del material puede también calcularse utilizando cualquier relación de peso de la sustancia al peso del agua siempre y cuando se consideren



volúmenes iguales de material y sustancia:

Es evidente que en la ecuación, que esto es cierto ya que los términos de volúmenes se cancelan. Nótese, sin embargo, que si no se cancela V en la ecuación, se obtiene la ecuación. El problema consiste en obtener el volumen de un peso conocido de granos de suelos y dividirlos por el peso del mismo volumen de agua, es decir aplicar la ecuación la ecuación, pues de esta forma es más difícil de captar como también de evaluar en el laboratorio. El volumen de peso conocido de partículas de suelo puede obtenerse utilizando un recipiente de volumen conocido y el principio de Arquímedes, según el cual un cuerpo sumergido dentro de una masa de agua desplaza un volumen de agua igual al del cuerpo sumergido.

El recipiente de volumen conocido es el frasco volumétrico el cual mide un volumen patrón de agua destilada a 20C. A temperaturas mayores, el volumen será ligeramente mayor; a temperaturas menores de 20 C el volumen será ligeramente menor. Como el cambio sufrido en el volumen es pequeño para desviaciones de temperaturas pequeñas en el fluido, y además es relativamente fácil mantener la temperatura de ensayo cercana a los 20C, es posible aplicar una corrección aproximada de la temperatura para desviaciones pequeñas de temperatura en los cálculos del ensayo, que permita una aproximación satisfactoria sin necesidad de recurrir a determinar experimentalmente el cambio en el contenido volumétrico del frasco con la temperatura. Alternativamente, se puede desarrollar una curva de calibración para cualquier frasco volumétrico dado de la siguiente forma:

A menudo para este experimento se utiliza agua común en lugar de agua destilada, el error, también en este caso, es bastante pequeño. Es posible determinar el error introducido al usar agua común, de la siguiente forma: se llena el frasco volumétrico hasta la marca, y se obtiene la temperatura y el peso si se



resta de este dato el peso del frasco volumétrico vacío, es posible determinar la densidad del agua común y compararla con la densidad del agua destilada a la temperatura adecuada en tablas. Nótese que si la temperatura no es exactamente 20 C es necesario para determinar el volumen del frasco recurrir a una calibración como la que se ha sugerido. Generalmente, si el error de densidad es menor que 0.001, puede ser despreciado

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

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. 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 unamasa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Climatología: Es la parte de la Meteorología que se ocupa del estudio del tiempo pasado en los diferentes lugares de la Tierra, utiliza las herramientas de las estadísticas para determinar los valores centrales, particularmente la Media o



Promedio de las diferentes variables meteorológicas con las cuales se pueden clasificar los Climas.

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

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

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

Humedad relativa: La humedad relativa es una medida del contenido de humedad del aire y, en esta forma, es útil como indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia. 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 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 siguientes normas, 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	<ul style="list-style-type: none"> - 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	<p>Por la cual definió la responsabilidad de las autoridades municipales en cuanto a la seguridad de los habitantes de las zonas urbanas ante los peligros naturales, estableciendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ La obligatoriedad a los municipios con la asistencia de las oficinas de Planeación de levantar y mantener actualizado el inventario de las zonas que presenten altos riesgos para la localización de asentamientos humanos (inundación, deslizamiento). ▪ 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	Por la cual se modifica la Ley de Reforma Urbana estableciendo que los municipios deben no solo levantar sino mantener actualizados los inventarios de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos y que los alcaldes contarán con la colaboración de las entidades pertenecientes al Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, para desarrollar las operaciones para eliminar el riesgo en los asentamientos localizados en dichas zonas.
Ley 388 de 1997	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”

	<p>“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”</p> <p>“Función Pública del Urbanismo: Mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales”</p> <p>“Acción Urbanística: Determinar las zonas no urbanizables que presenten riesgos para localización de asentamientos humanos por amenazas naturales, o que de otra forma presenten condiciones insalubres para la vivienda”.</p> <p>“Localizar las áreas críticas de recuperación y control para la prevención y atención de desastres...”</p>
Ley 810 de 2003	Modifica el artículo 104 de la Ley 388 de 1997, referente a las sanciones urbanísticas, entre ellas por construcciones en zonas de alto riesgo.
Ley 812 de 2003	Por el cual se establece el Plan Nacional de Desarrollo – PND 2002-2006 “Hacia un Estado Comunitario”, que en su capítulo III “Construir Equidad Social” Programa de “Prevención y Mitigación de Desastres Naturales” determinó: 1) La profundización del conocimiento sobre los riesgos naturales y su divulgación; 2) inclusión de la prevención y mitigación de riesgos en la planificación y la inversión territorial y sectorial, y 3) la reducción de la vulnerabilidad financiera del Gobierno ante desastres.
Decreto 879 1998	Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los Planes de Ordenamiento Territorial. Se tendrán en cuenta las prioridades del Plan de Desarrollo del municipio o distrito y los determinantes establecidos en normas de superior jerarquía entre los que se encuentra: Las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales.
Decreto 4002 de 2004	Por el cual se establece que teniendo en cuenta razones de excepcional interés público o de fuerza mayor o caso fortuito, el alcalde municipal o distrital podrá iniciar el proceso de revisión del plan, las cuales serán: La declaratoria de desastre o calamidad pública y por los resultados de estudios técnicos detallados sobre amenazas, riesgos y vulnerabilidad que justifiquen la recalificación de áreas de riesgo no mitigable y otras condiciones de restricción diferentes a las inicialmente adoptadas por el POT.
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

El estudio se realiza con el ánimo de garantizar el resultado del objetivo propuesto al iniciar con el proyecto para esto se cuenta con la solución de numerosos interrogantes, pero para garantizar dichos resultados se debe tener una organización que permita llegar a los resultados esperados.

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

Geología General

El municipio de Pereira se caracteriza litológicamente por el predominio de depósitos de carácter aluvial, glacial, flujos volcánicos (cenizas, lavas, lapilli); por tal motivo, los afloramientos rocosos son fácilmente identificables por su abrupta topografía que contrasta con las formas suavizadas de los depósitos.

En el Municipio afloran diferentes tipos de rocas pertenecientes a las formaciones: Grupo Diabásico, PórfidoDacítico de la Virginia, Zarzal, Cartago, La Paila, Pereira y los depósitos aluviales de los ríos Cauca y LaVieja.

Geología Local

Las principales litologías aflorantes a nivel local, caracterizan las llamadas formaciones superficiales, como los depósitos encontrados inmediatamente debajo de la capa vegetal, entre los que se cuentan las rocas del basamento y sus respectivos saprolitos, los depósitos de origen aluvial, coluvial, volcano-sedimentarios, de caída de piroclastos y los de rellenos antrópicos y depósitos de vertiente y de relleno de pantano.



» Rocas de basamento (Formación Barroso y Grupo Arquía): El basamento geológico de mayor densidad y rigidez está conformado por rocas basálticas y gabroicas pertenecientes a la Formación Barroso. Este tipo de basamento caracteriza el sector más occidental de Pereira y Dosquebradas.

» Abanico o Glacis del Quindío (Formación Pereira): Este tipo de depósitos se distribuye dentro de la mayor parte de la ciudad. Se relaciona con grandes erupciones volcánicas, que han dado lugar a flujos de escombros, flujos de lodo y flujos piroclásticos, usualmente subyacen las cenizas volcánicas y los depósitos aluviales.

» Cenizas volcánicas: Las cenizas volcánicas presentan un vasto recubrimiento sobre la mayor parte del área municipal lo que se relaciona a su origen sub-aéreo, relacionado con las erupciones volcánicas ocurridas sobre el eje de la Cordillera Central, durante los últimos 100.000 años, con una contribución, notable en espesor, para los últimos 10.000 años. Los conos volcánicos principales del sector son los Nevados del Ruiz, Santa Rosa, Quindío, Tolima y el Volcán Cerro Bravo.

Depósitos aluviales: Los principales depósitos aluviales son aquellos relacionados con las cuencas de los ríos Otún, Consota y San Eugenio y las quebradas El Oso y Dosquebradas. La información de refracción sísmica sugiere espesores hasta de 25 m.

» Depósitos de barras: Los materiales más recientes forman depósitos de barras, los cuales se distribuyen de forma dispersa a lo largo del lecho de los ríos Otún, Consota, San Eugenio, y sus principales tributarios.

» Llanuras de inundación: Las llanuras de inundación se encuentran distribuidas de forma discontinua a lo largo de los cauces, como es el caso del sector de la Universidad Católica para el río Consota.

» Abanicos aluviales: Otro tipo de depósitos aluviales presentes en la zona es el denominado abanico o cono aluvial, y en muchos casos coluvial-aluvial.



Éstos se generan hacia los piedemontes de diversas cuencas, los cuales originan fenómenos de flujos aluvio-torrenciales.

» Terrazas aluviales: Las principales terrazas aluviales se localizan en diversos sectores de los ríos Otún y Consota, y las quebradas El Oso, La Chillona y Los Frailes. Se destaca el sector de San Fernando (Cuba), debido a que está localizado sobre una terraza de dimensión considerable.

» Coluviones: Corresponden a depósitos heterogéneos, originados en laderas principalmente de altapendiente, y se distribuyen de forma dispersa en el área del municipio, su presencia puede dar lugar a fenómenos de remoción en masa.

» Rellenos antrópicos: Desde la década comprendida entre los años 1930 y 1940, varias clases de rellenos antrópicos fueron desarrollados en particular en la ciudad de Pereira. En concordancia con las geo formas del relieve donde han sido desarrollados, y la geometría resultante de los rellenos, pueden clasificarse así:

- Rellenos que cubren las partes bajas de los valles aluviales, siendo el más destacado el relleno del colector Egoyá.
- Rellenos dispuestos sobre las laderas, comunes en las quebradas La Arenosa y La Dulcera.
- Rellenos dispuestos sobre relieves planos y amplios, como ocurre en los sectores de Cuba y Mercasa.

Otros rellenos locales:

- Rellenos heterogéneos tipo botadero.
- Dispuestos sobre los drenajes de menor orden de las cuencas de las quebradas principales.

Están constituidos por una mezcla de suelos, escombros de construcción, basuras y material orgánico.



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

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 inició a finales del mioceno y se ha prolongado hasta el pasado histórico, combinado con la acción fluvial que movilizaba 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 (McCourt 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 determinando 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.

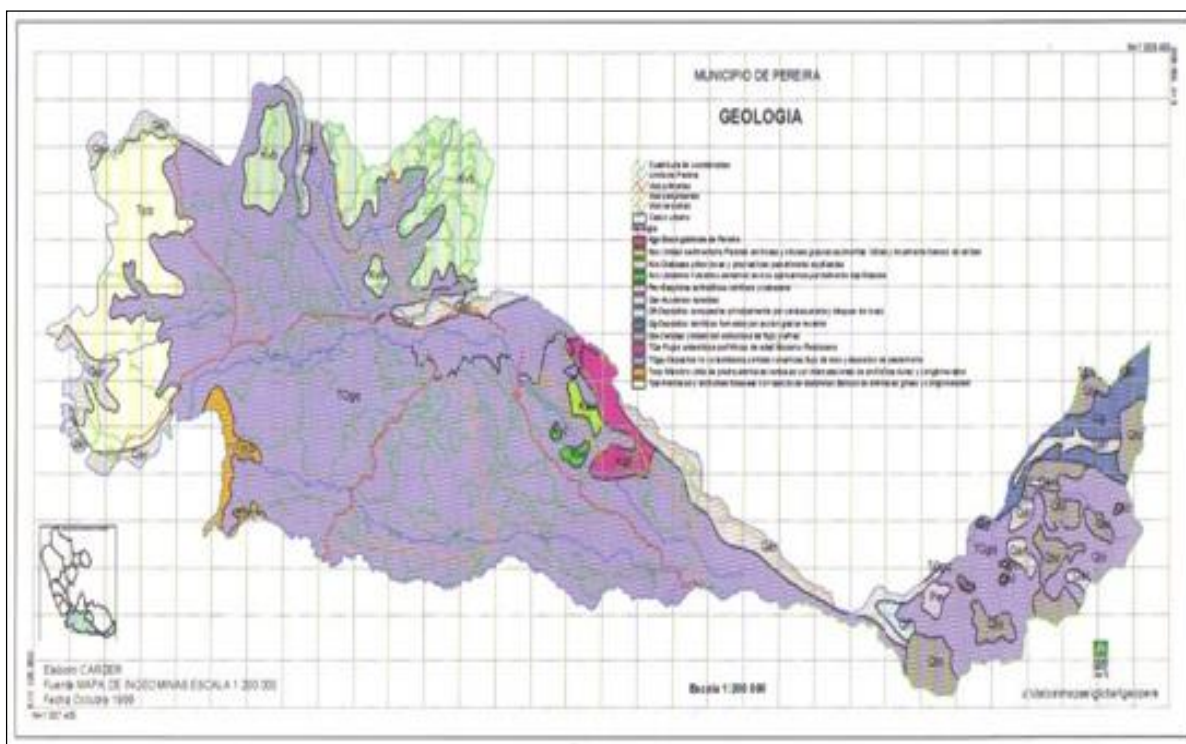


Figura 4. Mapa de unidades litológicas del municipio de Pereira.
(Tomado de CARDER, Proyecto para el diagnóstico de riesgos ambientales municipio de Pereira 2004)

Geomorfología

El conjunto morfo estructural del Municipio está conformado por la cadena montañosa de la Cordillera Central en la que sobresalen 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 Nivel: 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 secas, relieve ondulado, cantos muy alterados. Esgurrimentodifuso y concentrado, con formaciónde cárcavas. (Tomado de CARDER; Agenda Ambiental delMunicipio 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 diagnóstico de riesgos ambientales municipio de Pereira 2004)

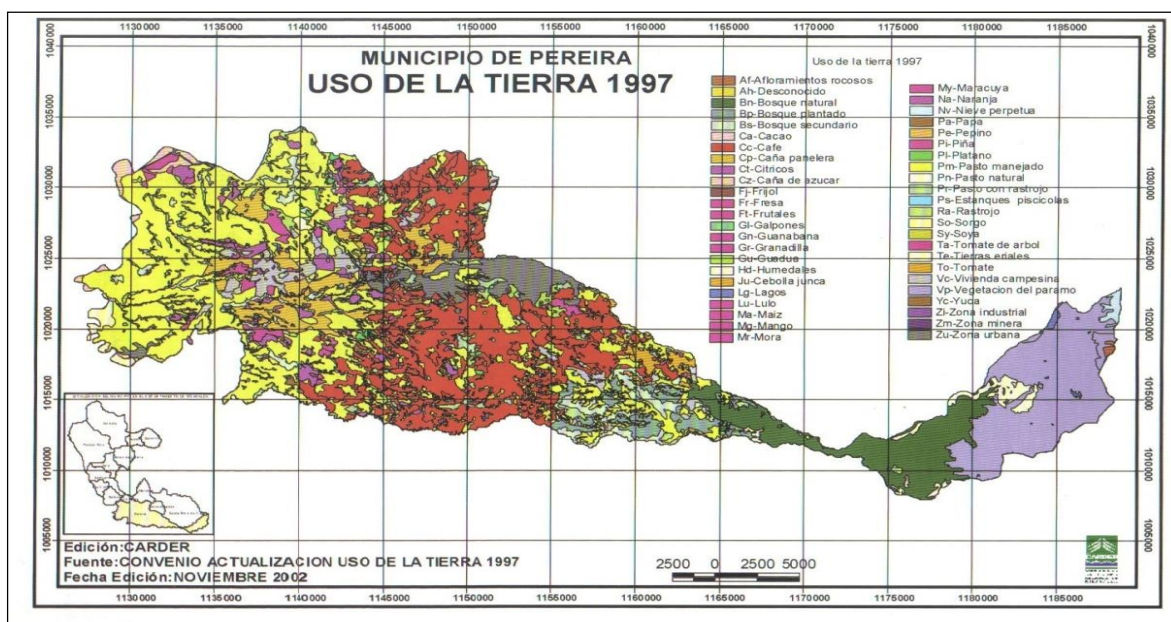


Figura 5. Mapa del municipio de Pereira usos y cobertura del suelo

7. 2. 3 Forma de la pendiente.

La pendiente del talud en estudio es algo pronunciada y a pesar de que cuenta con una muy buena vegetación esto no fue un obstáculo a la hora de tomar las muestras con barreno y tampoco se presentó dificultad al hacer las perforaciones verticales.



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



deposición 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, anfibolita 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.

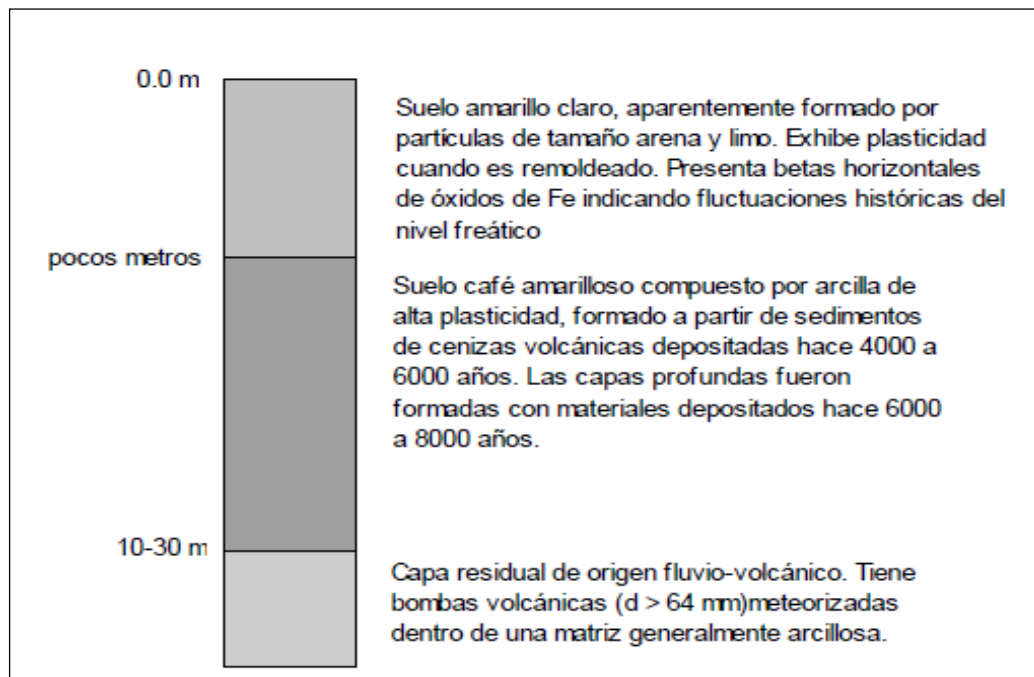


Figura 7. Perfil estratigráfico típico de suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia. Regla general: los suelos más profundos y más antiguos son suelos más finos y arcillosos.

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.

MICROZONIFICACION SISMICA MUNICIPIO DE PEREIRA				
ZONA	TOPOGRAFIA	TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICAS	ESPESOR (M)
ZONA 1 -CENTRO -JARDIN LOS ALAMOS-BELMONTE GALICIA	Semi-plana en el centro, de colinas redondeadas y cauces profundos en El Jardín y Los Alamos y con laderas suaves a moderadas al Sur (Consota) y abruptas al Norte (Ortín)	Cenizas Volcánicas sobre Conglomerado	Semirígidas y cohesiva	20-25
ZONA AEROPUERTO-BATALLON-CUBA	Sector central semiplano, Parte externa con laderas abruptas al Norte (Ortín) y relieve irregular al Sur (Consota) y en Cuba relieve plano.	Cenizas Volcánicas sobre Conglomerado o sobre Depósitos Aluviales	Semirígidas y cohesiva	10-20
ZONA 3 -CIUDADELA PERLA DEL OTUN-SANMARCOS	Valles estrechos y elongados con cimas agudas	Cenizas Volcánicas sobre Conglomerado	Semirígidas y cohesiva	25-35
ZONA 4 -SAN JORGE	Pendientes moderadas y localmente abruptas	Cenizas Volcánicas sobre Conglomerado	Semirígidas y cohesiva intercaladas conglomeradas	2-6
ZONA 5 -RIOS OTUN, CONSOTA Y EL OSO	Relieve Plano	Depósitos Aluviales sobre Conglomerado	Semirígidos	8-15
ZONA 6 -EGOYA -LA DULCERA-LA ARENOSA	Relieve semiplano en una depresión	Relleno antrópico sobre cenizas Volcánicas o Conglomerado	Heterogéneo blando a muy blando	6-15
ZONA 7 -CANCELES MIRADOR Y NORESTE PARQUE INDUSTRIAL	Pendientes moderadas a altas	Cenizas Volcánicas sobre Suelo Residual Arcilloso	Semirígidas y cohesiva	<8

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 promedio anual del municipio es de 2.108,16mm.

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 *COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA.*

El talud de estudio se encuentra ubicado en el centro de la avenida las Américas a un costado del Barrio el vergel, vía el Poblado.



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 **COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA**. En el talud, se realizaron la toma de muestras cada semana iniciando el día 9 marzo de 2011 y finalizando el día 20 de julio de 2011, la recolección de las muestras inalteradas tuvo una duración de 6 meses, en el cual se lograron obtener una totalidad de 40 muestras alteradas (obtenidas de la cara libre del talud) y seis muestras inalteradas (obtenidas en las perforaciones). Las cuales se obtuvieron de la siguiente forma: todos los miércoles a mediados de 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 veinte 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, límites de Atterberg y granulometría por tamizado.

Asimismo, se realizaron seis 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 mtr, 3.0 mtr y 4.50 mtr), 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 utilizo 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.

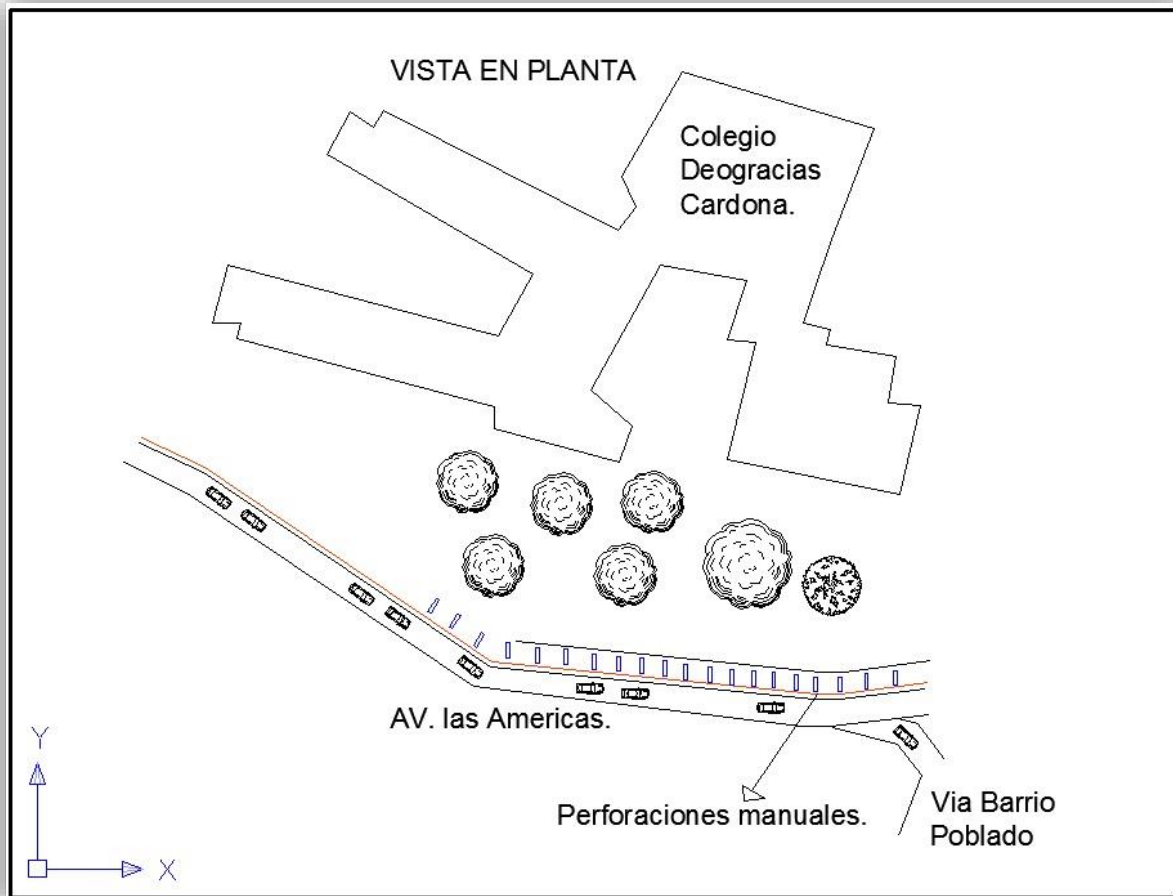
Evolución del entorno.

En esta fotografía se puede observar la antigua vía de acceso al **COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA**, la cual se desprendía de la avenida las Américas.



Figura 11. Fotografía aérea **COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA**.

Figura 13. Vista en planta talud **COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA** de Pereira



Perfil **COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA**.

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

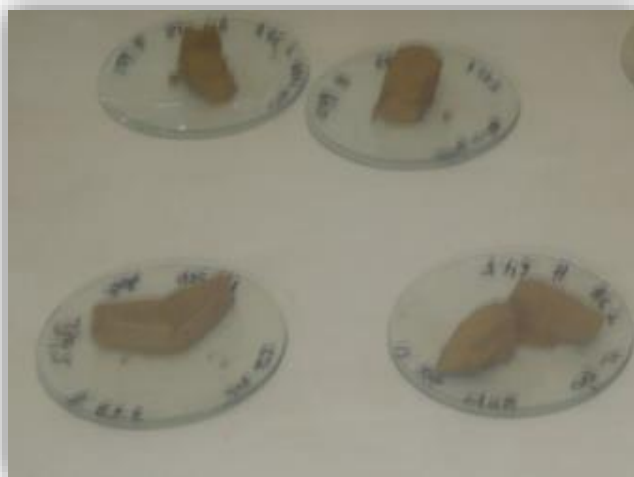


Figura 19. Muestras después de ser sacadas del horno

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 COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA 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 COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA, 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 MARZO MAÑANA

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

COLGIO DE GRACIAS CARDONA									
MES-AÑO	Día	LLUVIA [mm]	MAÑANA						
			TEMPERATURA [°C]	CONTENIDO DE HUMEDAD [X]	LIMITE LIQUIDO [X]	LIMITE PLÁSTICO [X]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID
MARZO (2011)	1	17.4	20.7						
	2	6.4	20.2						
	3	0	21.6						
	4	0	22.2						
	5	1.2	21.7						
	6	3.2	20.2						
	7	0	22.1						
	8	3.3	21.6						
	9	2.3	19.7	70	61.78	49.06	12.72	MH	muestra 1
	10	0	20						
	11	0	21.4						
	12	0	22						
	13	0	22.4						
	14	0	22.3						
	15	0	22.2						
	16	11.6	22.3	51	55.5	46.72	8.78	MH	muestra 2
				59.4	66.1	55.5	10.6	MH	T.ALTA
				64	53	11		MH	T.ALTA
				59.2	65.17	54.04	11.13	MH	T.BAJA
				63	53	10		MH	T.BAJA
				64.9	34.88	73.48	11.4	MH	T.BAJA
	17	17.4	22.4						
	18	0.2	22.2						
	19	1.2	21.2						
	20	21	20.1						
	21	5.8	20.2						
	22	26.2	20.3						
	23	7.8	20.7	65	61.78	51.04	10.74	ML	muestra 3
	24	7.6	21.1						
	25	0.6	21.2						
	26	2.2	21.2						
27	0	21.9							
28	5.6	20.8							
29	0	22.1							
30	9.2	22.1	56	70.06	61.56	8.5	MH	muestra 4	
31	0	22.3							
RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECANICOS (MARZO-MAÑANA)								Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)								70.00	9.0
Contenido de humedad mínimo (%)								51.00	16
Limite plástico máximo (%)								61.56	30
Limite plástico mínimo (%)								46.72	16
Limite liquido máximo (%)								70.06	30
Limite liquido mínimo (%)								55.50	16
Indicé de plasticidad máximo (%)								12.72	9
Indicé de plasticidad mínimo (%)								8.50	30

Fuente: Grupo de co-investigadores.

MES DE MARZO TARDE

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

COLEGIO REGIONALES CARDONA										
MES-AÑO	DÍA	LLUVIA[mm]	TARDE							
			TEMPERATURA [°C]	CONTENIDO DE HUMEDAD [X]	LIMITE LIQUIDO[X]	LIMITE PLASTICO[X]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID	
MARZO (2011)	1	17.4	20.7							
	2	6.4	20.2							
	3	0	21.6							
	4	0	22.2							
	5	1.2	21.7							
	6	3.2	20.2							
	7	0	22.1							
	8	33	21.6							
		9	23	19.7	67	58.02	48.78	9.24	MH	muestra 1
		10	0	20						
		11	0	21.4						
		12	0	22						
		13	0	22.4						
		14	0	22.3						
		15	0	22.2						
		16	11.6	22.3	46	66.41	57.32	9.09	PL	muestra 2
		17	17.4	22.4						
		18	0.2	22.2						
		19	1.2	21.2						
		20	21	20.1						
		21	5.8	20.2						
		22	26.2	20.3						
		23	7.3	20.7	63	55.13	48.65	6.48	MH	muestra 3
		24	7.6	21.1						
		25	0.6	21.2						
		26	2.2	21.2						
		27	0	21.9						
		28	5.6	20.8						
		29	0	22.1						
		30	9.2	22.1	55	76.59	66.07	10.52	MH	muestra 4
		31	0	22.3						

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECANICOS (MARZO-TARDE)	Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)	67.00	9
Contenido de humedad mínimo (%)	46.00	16
Limite plástico máximo (%)	66.07	30
Limite plástico mínimo (%)	48.65	23
Limite liquido máximo (%)	76.59	30
Limite liquido mínimo (%)	55.13	23
Indice de plasticidad máximo (%)	10.52	30
Indice de plasticidad mínimo (%)	6.48	23

Fuente: Grupo de co-investigadores.

MES DE ABRIL MAÑANA

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

COLEGIO DE GRACIAS CARBONA									
MES-AÑO	Día	LLUVIA [mm]	MAÑANA						
			TEMPERATURA [°C]	DE HUMEDAD [%]	LIMITE LIQUIDO [%]	LIMITE PLASTICO [%]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID
ABRIL (2011)	1	15.8	22.05						
	2	11	20.74						
	3	21.6	21.1						
	4	5	20.5						
	5	1.6	20.19						
	6	10.2	20.88	70	59.23	49.65	9.68	MH	muestra 5
				51.2	68	56	12	MH	porf-2 T.Alta
				60.8	74	64	10	MH	porf-2 T.Alta
				64.6	74	63	11	MH	porf-2 T.Baja
				58.3	70	56	14	MH	porf-2 T.Baja
				64.8	80	61	19	MH	porf-2 T.Baja
	7	11	20.63						
	8	52.4	20.8						
	9	11.8	19.65						
	10	10	19.63						
	11	1	20.63						
	12	6.2	19.47						
	13	12.4	20.48	68	53.28	48.21	5.07	MH	muestra 6
	14	4.6	21.04						
	15	73.2	19.08						
	16	2.8	19.28						
	17	3.4	19.57						
	18	20.8	19.04						
	19	2.4	19.68						
	20	14.8	19.2	87	71.03	63.49	7.54	MH	muestra 7
	21	1.2	20.57						
	22	21.6	20						
	23	28.6	20.62						
	24	5.8	20.14						
	25	2.6	20.6						
26	2.4	20.64							
27	0.4	20.5	72	75.96	66.32	9.64	MH	muestra 8	
28	6	20.48							
29	0	22.11							
30	13.6	22.13							
RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECANICOS (ABRIL-MAÑANA)							Valor	Día	
Contenido de humedad máximo (%)							70.00	6	
Contenido de humedad mínimo (%)							68.00	13	
Limite plástico máximo (%)							66.32	27	
Limite plástico mínimo (%)							48.21	13	
Limite liquido máximo (%)							75.96	27	
Limite liquido mínimo (%)							53.28	13	
Indicé de plasticidad máximo (%)							9.68	6	
Indicé de plasticidad mínimo (%)							5.07	13	

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE ABRIL TARDE

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

COLGIO DE GRACIAS CARDONA									
MES-AÑO	Día	LLUVIA [mm]	TARDE						
			TEMPERATURA [°C]	DE HUMEDAD [%]	LIMITE LIQUIDO [%]	LIMITE PLASTICO [%]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID
ABRIL (2011)	1	15.8	22.05						
	2	11	20.74						
	3	21.6	21.1						
	4	5	20.5						
	5	1.6	20.19						
	6	10.2	20.88	55	72.83	62.24	10.59	MH	muestra 5
	7	11	20.63						
	8	52.4	20.8						
	9	11.8	19.65						
	10	10	19.63						
	11	1	20.63						
	12	6.2	19.47						
	13	12.4	20.48	63	61	57	4	MH	muestra 6
	14	4.6	21.04						
	15	73.2	19.08						
	16	2.8	19.28						
	17	3.4	19.57						
	18	20.8	19.04						
	19	2.4	19.68						
	20	14.8	19.2	93	70.66	64.44	6.22	MH	muestra 7
	21	1.2	20.57						
	22	21.6	20						
	23	28.6	20.62						
	24	5.8	20.14						
	25	2.6	20.6						
	26	2.4	20.64						
	27	0.4	20.5	66	67.45	59.85	7.6	MH	muestra 8
	28	6	20.48						
	29	0	22.11						
	30	13.6	22.13						
RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECANICOS (ABRIL-TARDE)								Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)								93.00	20
Contenido de humedad mínimo (%)								55.00	6
Limite plástico máximo (%)								64.44	20
Limite plástico mínimo (%)								57.00	13
Limite liquido máximo (%)								72.83	6
Limite liquido mínimo (%)								61.00	13
Indicé de plasticidad máximo (%)								10.59	6
Indicé de plasticidad mínimo (%)								4.00	13

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE MAYO MAÑANA

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

CRITERIOS RECOMENDADOS CARPAPES										
MES-AÑO	DÍA	HUMEDAD (%)	MÓDULO							
			TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LÍMITE ELÁSTICO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	CONDICIÓN	IS	
	1	8	21.55							
	2	8.4	22.55							
	3	8.8	23.85							
MAYO-MAÑANA	4	8	21.73	54	55.84	54.82	4.22	HH	marzo 3	
				58.6	72	61	11	HH	Perf-3 T.Alla	
				57.8	74	68	11	HH	Perf-3 T.Alla	
				64.6	63	58	5	HH	Perf-3 T.Daja	
				58.3	74	68	11	HH	Perf-3 T.Daja	
		5	5.2	21.38						
		6	1	22.35						
		7	8	23.38						
		8	18.8	24.55						
		9	5.6	23.35						
		10	8	22.33						
		11	4.2	24.25	57.83	56.27	58.6	5.67	HH	marzo 18
		12	23.6	23.38						
		13	17.8	23.17						
		14	2.8	19.83						
		15	8	23.87						
		16	8	21.66						
		17	8	24.33						
		18	8	24.76	57	68.83	55.55	5.34	HH	marzo 11
		19	11	23.33						
		20	8.2	23.35						
		21	8.4	19.84						
		22	2.6	19.8						
		23	8.6	24.34						
	24	4.4	24.37							
25	3	23.53	73	68.83	68.6	8.23	HH	marzo 12		
			34.7	78	64	14	HL	Perf-4 T.Alla		
			57.8	74	62	12	HH	Perf-4 T.Alla		
			78.3	63	58	5	HH	Perf-4 T.Daja		
			76.4	74	61	18	HH	Perf-4 T.Daja		
	26	8.6	24.12							
	27	1.6	24.76							
	28	6.2	24.85							
	29	2	24.87							
	30	1.2	24.32							
	31	8.4	22.12							

RESUMEN ESTADÍSTICO PARÁMETROS FÍSICOMECÁNICOS [MAYO-MAÑANA]		Valor	D _s
Controlado de humedad máxima [X]		73.88	25
Controlado de humedad mínima [X]		54.88	4
Límite plástico máxima [X]		68.68	25
Límite plástico mínima [X]		58.68	14
Límite líquido máxima [X]		68.83	25
Límite líquido mínima [X]		55.84	4
Índice de plasticidad máxima [X]		8.23	25
Índice de plasticidad mínima [X]		4.22	4

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE MAYO TARDE

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

MES-AÑO	DÍA	HUMEDAD (%)	TIENNO					CONDICIÓN	ID
			TEMPERATURA (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD	LÍMITE PLÁSTICO (%)	LÍMITE FIJOS (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD		
	1	8	21.55						
	2	8.4	22.55						
	3	8.8	28.85						
	4	8	21.75	52	61.87	54.46	7.41	MH	marzo-3
	5	5.2	21.98						
	6	1	22.95						
	7	8	29.98						
	8	18.8	21.55						
	9	3.6	28.96						
	10	8	22.99						
	11	4.2	21.26	58.42	67.97	57.3	18.87	MH	marzo-18
	12	29.6	28.98						
	13	17.8	28.47						
	14	2.8	19.89						
	15	8	28.87						
	16	8	21.66						
	17	8	21.99						
	18	8	21.76	57	76.58	66.43	18.89	MH	marzo-11
	19	11	28.99						
	20	8.2	28.95						
	21	8.4	19.81						
	22	2.6	19.8						
	23	8.6	21.91						
	24	4.4	21.97						
	25	3	28.59	75	69.89	58.97	4.86	MH	marzo-12
	26	8.6	21.42						
	27	1.6	21.76						
	28	6.2	21.85						
	29	2	21.87						
	30	1.2	21.92						
	31	8.4	22.42						

RESUMEN ESTADÍSTICO PARAMETROS FISICOMECAÑICOS [MAYO- TARDE]		Valor	D _u
Controlado de humedad máxima [X]		75	75
Controlado de humedad mínima [X]		52	4
Límite plástico máxima [X]		66.43	18
Límite plástico mínima [X]		54.46	4
Límite líquido máxima [X]		76.58	18
Límite líquido mínima [X]		61.87	4
Índice de plasticidad máxima [X]		18.89	18
Índice de plasticidad mínima [X]		4.86	25

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE JUNIO MAÑANA

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

COLLEGIO DEGRACIAS CARDONA									
MES-AÑO	Día	LLUVIA [mm]	MAÑANA						
			TEMPERATURA [°C]	DE HUMEDAD [%]	LIMITE LIQUIDO [%]	LIMITE PLASTICO [%]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID
JUNIO (2011)	1	22.3	20.72	95.18	75.79	61.15	14.64	MH	muestra 13
	2	27.4	19.12						
	3	0.6	20.27						
	4	7.4	19.92						
	5	3	21.64						
	6	0.4	21.5						
	7	2	20.93						
	8	0.3	22.4	50.91	59.46	53.51	5.95	MH	muestra 14
	9	0	23.04						
	10	0	22.82						
	11	0	23.05						
	12	1	22.74						
	13	0	23.18						
	14	4.4	21.88						
	15	12.2	21.33	68	67.39	60.62	6.77	MH	muestra 15
				73.2	88	75	13	MH	Perf-5 T.Alta
				61.1	87	71	16	MH	Perf-5 T.Alta
				65.3	78	66	12	MH	Perf-5 T.Baja
				68.2	68	61	7	MH	Perf-5 T.Baja
				64.8	68	56	12	MH	Perf-5 T.Baja
	16	0.2	20.94						
	17	1.2	21.41						
	18	2	21.33						
	19	1.2	21.48						
	20	0.6	20.89						
	21	0	21.6						
	22	0	22.39	59	63.23	56.12	7.11	MH	muestra 16
	23	10	20.82						
	24	1	21.26						
	25	8.6	19.19						
26	0.8	20.69							
27	2.6	21.4							
28	1	21.48							
29	0.2	21.15	62	61.5	52.44	9.06	MH	muestra 17	
30	19.6	20.45							

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAÑICOS (JUNIO-MAÑANA)		Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)		95.18	1
Contenido de humedad mínimo (%)		50.91	8
Limite plástico máximo (%)		61.15	1
Limite plástico mínimo (%)		52.44	29
Limite liquido máximo (%)		75.80	1
Limite liquido mínimo (%)		59.50	8
Indicé de plasticidad máximo (%)		14.64	1
Indicé de plasticidad mínimo (%)		5.95	8

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE JUNIO TARDE

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

COLEGIO DE GRACIAS CARDONA									
MES-AÑO	DÍA	LLUVIA [mm]	TARDE						
			TEMPERATURA [°C]	DE HUMEDAD [%]	LIMITE LIQUIDO [%]	LIMITE PLASTICO [%]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID
JUNIO (2011)	1	22.3	20.72	101	64.88	52.59	12.29	MH	muestra 13
	2	27.4	19.12						
	3	0.6	20.27						
	4	7.4	19.92						
	5	3	21.64						
	6	0.4	21.5						
	7	2	20.93						
	8	0.3	22.4	53	58.27	56.31	1.46	MH	muestra 14
	9	0	23.04						
	10	0	22.82						
	11	0	23.05						
	12	1	22.74						
	13	0	23.18						
	14	4.4	21.88						
	15	12.2	21.33	70	64.05	60.35	3.7	MH	muestra 15
	16	0.2	20.94						
	17	1.2	21.41						
	18	2	21.33						
	19	1.2	21.48						
	20	0.6	20.89						
	21	0	21.6						
	22	0	22.39	50	62.11	52.64	9.47	MH	muestra 16
	23	10	20.82						
	24	1	21.26						
	25	8.6	19.19						
	26	0.8	20.69						
	27	2.6	21.4						
	28	1	21.48						
	29	0.2	21.15	61	68.7	57.66	11.04	MH	muestra 17
	30	19.6	20.45						

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (JUNIO - MAÑANA)			Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)			101.00	1
Contenido de humedad mínimo (%)			50.00	22
Limite plástico máximo (%)			60.35	15
Limite plástico mínimo (%)			52.59	1
Limite liquido máximo (%)			68.70	29
Limite liquido mínimo (%)			58.30	8
Indice de plasticidad máximo (%)			12.29	1
Indice de plasticidad mínimo (%)			1.46	8

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE JULIO MAÑANA

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

COLEGIO DE OBRERAS CARDONA									
MES-AÑO	DÍA	LLUVIA [mm]	MAÑANA						
			TEMPERATURA [°C]	DE HUMEDAD [%]	LIMITE LIQUIDO [%]	LIMITE PLASTICO [%]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID
JULIO (2010)	1	0	21.55						
	2	0.4	22.55						
	3	0.8	20.85						
	4	0	21.73						
	5	5.2	21.98						
	6	1	22.95	82	66.9	59.94	6.96	MH	muestra 18
	7	0	23.38						
	8	10.8	21.55						
	9	3.6	20.96						
	10	0	22.99						
	11	4.2	21.26						
	12	29.6	20.98						
	13	17.8	20.17	115	64.68	53.92	10.76	MH	muestra 19
	14	2.8	19.03						
	15	0	20.87						
	16	0	21.66						
	17	0	21.99						
	18	0	21.76						
	19	11	20.33						
	20	0.2	20.95	100	67.72	56.81	10.91	MH	muestra 20
				51.2	68	57	11	MH	Perf-6 T.Alto
				68.5	74	63	11	MH	Perf-6 T.Alto
				67.7	77	63	14	MH	Perf-6 T.Baja
				64.1	70	56	14	MH	Perf-6 T.Baja
				66.8	80	61	19	MH	Perf-6 T.Baja
	21	8.4	19.81						
	22	2.6	19.8						
	23	0.6	21.31						
	24	4.4	21.37						
	25	9	20.59						
	26	0.6	21.12						
27	1.6	21.76							
28	6.2	21.05							
29	2	21.07							
30	1.2	21.92							
31	0.4	22.12							
RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECANICOS (JULIO-MAÑANA)							Valor	Día	
Contenido de humedad máximo (%)							115.00	13	
Contenido de humedad mínimo (%)							82.00	6	
Limite plástico máximo (%)							59.94	6	
Limite plástico mínimo (%)							53.92	13	
Limite liquido máximo (%)							67.72	20	
Limite liquido mínimo (%)							64.68	13	
Indice de plasticidad máximo (%)							10.91	20	
Indice de plasticidad mínimo (%)							6.96	6	

Fuente: Grupo de co-investigadores

MES DE JULIO TARDE

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

MES-AÑO	DÍA	LLUVIA [mm]	TARDE						
			TEMPERATURA [°C]	DE HUMEDAD [%]	LIMITE LIQUIDO [%]	LIMITE PLÁSTICO [%]	INDICE DE PLASTICIDAD	CLASIFICACION	ID
JULIO (2011)	1	6.4	21.55						
	2	4.2	22.55						
	3	0.2	20.85						
	4	1.8	21.73						
	5	0	21.98						
	6	44.2	22.95	109	54.03	43.96	10.07	MH	muestra 18
	7	0.2	23.38						
	8	0	21.55						
	9	0	20.96						
	10	0	22.99						
	11	0	21.26						
	12	1	20.98						
	13	47.2	20.17	122	64.56	54.67	9.89	MH	muestra 19
	14	6	19.03						
	15	7.6	20.87						
	16	0	21.66						
	17	1.4	21.99						
	18	0	21.76						
	19	10.4	20.33						
	20	3.6	20.95	99	57.05	46.78	10.27	MH	muestra 20
	21	0	19.81						
	22	0	19.8						
	23	0	21.31						
	24	0	21.37						
	25	0	20.59						
	26	0	21.12						
	27	1	21.76						
	28	7.2	21.05						
	29	15.6	21.07						
	30	30.6	21.92						
	31	0.6	22.12						
RESUMEN ESTADÍSTICO PARAMETROS FÍSICOMECAÑICOS (JULIO-TARDE)								Valor	Día
Contenido de humedad máximo (%)								122.00	13
Contenido de humedad mínimo (%)								99.00	20
Limite plástico máximo (%)								54.67	13
Limite plástico mínimo (%)								43.96	6
Limite liquido máximo (%)								64.56	13
Limite liquido mínimo (%)								54.03	6
Indice de plasticidad máximo (%)								10.72	20
Indice de plasticidad mínimo (%)								9.89	13

Fuente: Grupo de co-investigadores

8. 1. 2 Muestras inalteradas parámetros geomecánicos (perforación con el tubo Shelby)

Primera Perforación

Tabla 30. Resultados de laboratorio primera perforación mes de marzo de 2011.

MES-AÑO	COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA									
	DÍA	LLUVIA(mm)	MAÑANA						CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO(%)	LIMITE PLASTICO(%)	INDICE DE PLASTICIDAD			
MARZO-- 2011	16	11.6	22.3	59.4	66.1	55.5	10.6	MH	perf-1 T.Alta	
					64	53	11	MH	perf-1 T.Alta	
				59.2	65.17	54.04	11.13	MH	perf-1 T.Baja	
					63	53	10	MH	perf-1 T.Baja	
				64.9	84.88	73.48	11.4	MH	perf-1 T.Baja	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Segunda Perforación

Tabla 31. Resultados de laboratorio segunda perforación mes de abril de 2011.

MES-AÑO	COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA									
	DÍA	LLUVIA(mm)	MAÑANA						CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO(%)	LIMITE PLASTICO(%)	INDICE DE PLASTICIDAD			
ABRIL -- 2011	6	10.2	20.88	51.2	68	56	12	MH	perf-2 T.Alta	
				60.8	74	64	10	MH	perf-2 T.Alta	
				64.6	74	63	11	MH	perf-2 T.Baja	
				58.3	70	56	14	MH	perf-2 T.Baja	
				64.8	80	61	19	MH	perf-2 T.Baja	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tercera Perforación

Tabla 32. Resultados de laboratorio tercera perforación mes de mayo de 2011.

MES-AÑO	COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA									
	DÍA	LLUVIA(mm)	MAÑANA						CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO(%)	LIMITE PLASTICO(%)	INDICE DE PLASTICIDAD			
MAYO -- 2011	4	0	21.73	58.6	72	61	11	MH	Perf-3 T.Alta	
				57.8	71	60	11	MH	Perf-3 T.Alta	
				64.6	63	58	5	MH	Perf-3 T.Baja	
				58.3	71	60	11	MH	Perf-3 T.Baja	
				64.7	80.1	61	19	MH	Perf-3 T.Baja	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Cuarta Perforación

Tabla 33. Resultados de laboratorio cuarta perforación mes de mayo de 2011.

MES-AÑO	COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA									
	DÍA	LLUVIA(mm)	MAÑANA						CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO(%)	LIMITE PLASTICO(%)	INDICE DE PLASTICIDAD			
MAYO -- 2011	25	9	20.59	94.7	78	64	14	MH	Perf-4 T.Alta	
				97.8	74	62	12	MH	Perf-4 T.Alta	
				78.9	63	58	5	MH	Perf-4 T.Baja	
				76.4	71	61	10	MH	Perf-4 T.Baja	
				64.8	80	61	19	MH	Perf-4 T.Baja	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Quinta Perforación

Tabla 34. Resultados de laboratorio quinta perforación mes de junio 2011.

MES-AÑO	COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA									
	DÍA	LLUVIA(mm)	MAÑANA						CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO(%)	LIMITE PLASTICO(%)	INDICE DE PLASTICIDAD			
JUNIO -- 2011	15	12.2	21.33	73.2	88	75	13	MH	Perf-5 T.Alta	
				61.1	87	71	16	MH	Perf-5 T.Alta	
				65.3	78	66	12	MH	Perf-5 T.Baja	
				68.2	68	61	7	MH	Perf-5 T.Baja	
				64.8	68	56	12	MH	Perf-5 T.Baja	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Sexta Perforación

Tabla 34. Resultados de laboratorio quinta perforación mes de julio 2011.

MES-AÑO	COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA									
	DÍA	LLUVIA(mm)	MAÑANA						CLASIFICACION	ID
			TEMPERATURA (C°)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LIMITE LIQUIDO(%)	LIMITE PLASTICO(%)	INDICE DE PLASTICIDAD			
JULIO -- 2011	20	0.2	20.95	51.2	68	57	11	MH	Perf-6 T.Alta	
				68.5	74	63	11	MH	Perf-6 T.Alta	
				67.7	77	63	14	MH	Perf-6 T.Baja	
				64.1	70	56	14	MH	Perf-6 T.Baja	
				66.8	80	61	19	MH	Perf-6 T.Baja	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Tabla 35. Resumen estadístico de los parámetros geo mecánicos de las muestras inalteradas.

RESUMEN ESTADISTICO PARAMETROS FISICOMECAVICOS (PERFORACIONES)		FECHA
Contenido de humedad máximo (%)	97.8	25-may-11
Contenido de humedad mínimo (%)	51.2	06-abr-11
Limite plástico máximo (%)	75	15-jun-11
Limite plástico mínimo (%)	53	16-mar-11
Limite liquido máximo (%)	88	15-jun-11
Limite liquido mínimo (%)	63	16-mar-11
Indicé de plasticidad máximo (%)	19	06-abr-11
Indicé de plasticidad mínimo (%)	4	04-may-11

Fuente: Grupo de co-investigadores

8. 2 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.

Tabla 36. 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 marzo del 2011 hasta julio de 2011.

Tabla 37. Base de datos estación climatológica parque el lago mes de Marzo de 2011

RED HIDROCLIMATOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA																	
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES (FACA)									LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)								
ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL LAGO ECT001																	
MARZO DE 2011																	
	ALGUNOS INDICADORES DE LLUVIAS																
	Lluvias por tipo				Lluvias por jornada				Lluvia diaria	Duración lluvia diaria		Duración máx. lluvia aislada	Magnitud máx. lluvia aislada	Intensidad media máx.	Intensidad máx. en 5 minutos	Cantidad de lluvias	
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N	(mm)	(h)	(%)	(min)	(mm)	(mm/h)	(mm/h)		
1	1	1	5	0	4	1	1	1	17.4	4.1	17.0	55	9.4	10.3	26.4	7	
2	1	0	7	0	5	0	2	1	6.4	1.5	6.3	10	3.6	21.6	24	8	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	1	0	0	0	1	0	0	0	1.2	0.2	0.7	10	2	12	14.4	1	
6	0	0	1	0	1	0	0	0	3.2	1.7	6.9	100	3.2	1.92	7.2	1	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	
8	1	1	4	0	2	1	0	3	33	4	16.7	120	28.8	14.4	45.6	6	
9	1	1	10	2	4	2	4	4	23	7.4	30.9	50	6.4	7.7	28.8	14	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	2	1	0	2	0	0	1	11.6	2.4	10.1	90	7.2	4.8	1.2	3	
17	1	1	1	0	0	2	0	1	17.4	0.8	3.1	35	16.8	28.8	67.2	3	
18	0	0	1	0	1	0	0	0	0.2	0.1	0.3	5	0.2	2.4	2.4	1	
19	0	1	0	0	0	0	0	1	1.2	0.3	1.4	20	1.2	3.6	4.8	1	
20	0	4	7	0	4	3	2	2	21	2.8	11.8	90	11.4	7.6	26.4	11	
21	0	1	3	0	1	0	1	2	5.8	2.6	10.8	55	3	3.3	9.6	4	
22	1	1	7	1	1	4	1	4	26.2	3.8	15.6	75	17.4	13.9	43.2	10	
23	1	0	0	0	0	0	1	0	7.8	0.8	3.5	50	7.8	9.4	48	1	
24	0	2	0	1	0	0	0	3	7.6	1.5	6.3	60	6.8	6.8	19.2	3	
25	0	0	3	0	1	0	0	2	0.6	0.25	1.0	5	0.2	2.4	2.4	3	
26	0	0	2	0	0	0	2	0	2.2	1.67	6.9	95	2	1.3	2.4	2	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	
28	0	1	1	0	0	0	0	0	5.6	2.1	8.7	110	4.8	2.6	7.2	2	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	1	0	2	0	0	0	1	2	9.2	1.9	8.0	30	6.2	12.4	28.8	3	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
RESUMEN MENSUAL DE INDICADORES																	
SUMA	9	16	55	4	27	13	15	27	200.6	39.8	9.4					84	
MÁXIMO	1	4	10	2	5	4	4	4	33	7.4	30.9	120	28.8	28.8	67.2	14	

CONVENCIONES	UNIDADES
F Fuente	min minutos
M Moderada	h horas
L Ligera	mm milímetros
LL Llovizna	% porcentaje
Md Madrugada	
Mñ Mañana	
T Tarde	
N Noche	

Fuente: Grupo de co-investigadores

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de Abril de la temperatura promedio es de 20,38C° y la lluvia acumulada mensual es de 374,20mm.

Tabla 39. Resultados base de datos estación climatológica parque el lago mes de Mayo de 2011.

RED HIDROCLIMATOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA																	
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES (FACA)									LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)								
ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL LAGO ECT 001																	
MAYO DE 2011																	
	ALGUNOS INDICADORES DE LLUVIAS																
	Lluvias por tipo				Lluvias por jornada				Lluvia diaria (mm)	Duración lluvia diaria		Duración máx. lluvia aislada (min)	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)	Intensidad media máx. (mm/h)	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)	Cantidad de lluvias	
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N		(h)	(%)						
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	
2	0	1	0	0	0	0	0	1	0,4	0,1	0,3	5	0,4	4,8	4,8	1	
3	0	0	3	0	0	0	1	2	0,8	0,4	1,7	15	0,4	1,6	2,4	3	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	
5	0	1	1	0	0	0	2	0	5,2	0,8	3,1	40	5	7,5	31,2	2	
6	0	1	2	0	3	0	0	0	1	0,5	2,1	5	0,4	4,8	4,8	3	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	
8	0	1	2	0	1	2	0	0	10,8	2,3	9,7	95	9,2	5,8	26,4	3	
9	0	1	2	0	1	1	1	0	3,6	1,4	5,9	60	3	3,0	4,8	3	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	
11	1	0	0	0	0	1	0	0	4,2	0,5	2,1	30	4,2	8,4	24	1	
12	1	0	5	0	0	0	2	4	29,6	5,6	23,3	150	24,8	9,9	48	6	
13	1	1	6	0	1	1	2	4	17,8	5,5	22,9	20	5,6	16,8	38,4	8	
14	0	0	2	2	1	2	1	0	2,8	2,9	12,2	5	0,2	2,4	2,4	4	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0	
19	1	0	0	0	0	0	1	0	1,1	1,2	4,9	70	1,1	9,4	21,6	1	
20	0	0	1	0	0	0	1	0	0,2	0,1	0,3	5	0,2	2,4	2,4	1	
21	1	0	2	0	0	0	3	0	8,4	2,1	8,7	30	4,8	9,6	16,8	3	
22	0	0	4	0	3	0	1	0	2,6	1,8	7,6	45	1	1,3	2,4	4	
23	0	0	1	1	0	1	0	1	0,6	0,5	2,1	5	0,2	2,4	2,4	2	
24	0	1	3	0	0	2	2	0	4,4	2,2	9,0	60	2,6	2,6	7,2	4	
25	1	0	3	1	3	1	1	0	9	1,8	7,6	60	7,8	7,8	24	5	
26	0	0	0	1	0	0	1	0	0,6	0,7	2,8	40	0,6	0,9	2,4	1	
27	0	1	1	0	0	0	2	0	1,6	0,7	2,8	10	0,8	4,8	4,8	2	
28	1	0	1	0	0	1	1	0	6,2	0,8	3,1	40	6	9,0	24	2	
29	0	1	1	0	0	0	2	0	2	0,6	2,4	30	1,8	3,6	7,2	2	
30	0	1	0	0	0	0	1	0	1,2	0,3	1,4	20	1,2	3,6	4,8	1	
31	0	0	2	0	0	0	2	0	0,4	0,2	0,7	5	0,2	2,4	2,4	2	
RESUMEN MENSUAL DE INDICADORES																	
SUMA	7	10	42	5	12	11	29	12	124,4	32,83	4,41					64	
MAXIMO	1	1	6	2	3	2	3	4	29,6	5,56	23,26	150	24,8	16,80	48	8	

CONVENCIONES

- F Fuerte
- M Moderada
- L Ligera
- LL Llovizna
- Md Madrugada
- Mñ Mañana
- T Tarde
- N Noche

UNIDADES

- min minutos
- h horas
- mm milímetros
- % porcentaje



Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de Mayo de la temperatura promedio es de 21,33C° y la lluvia acumulada mensual es de 124,40mm.

Tabla 40. Resultados base de datos estación climatológica parque el lago mes de Junio de 2011.

RED HIDROCLIMATOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES (FAÇA) LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL LAGO ECT 001

JUNIO DE 2011																
	ALGUNOS INDICADORES DE LLUVIAS															
	Lluvias por tipo				Lluvias por hora				Lluvia diaria (mm)	Duración lluvia diaria		Duración máx. lluvia aislada (min)	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)	Intensidad media máx. (mm/h)	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)	Cantidad lluvia
	F	M	L	LL	Ma	Mi	T	N		(h)	(%)					
1	2	4	3	0	0	2	3	4	22,8	3,7	15,3	15	4,4	18	40,8	9
2	0	2	9	0	7	1	3	0	27,4	7,9	33,0	210	15	4	16,8	11
3	0	0	3	0	3	0	0	0	0,6	0,3	1,0	5	0,2	2	2,4	3
4	1	0	1	0	2	0	0	0	7,4	1,5	6,3	45	6,2	8	19,2	2
5	1	0	0	1	0	0	0	2	3	0,9	3,1	20	2,6	8	14,4	2
6	0	0	1	0	1	0	0	0	0,4	0,2	0,7	10	0,4	2	2,4	1
7	0	0	3	0	1	1	1	0	2	0,8	3,5	40	1,6	2	4,8	3
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0,8	0,3	1,0	15	0,8	3	4,8	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0,3	1,0	15	1	4	4,8	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
14	0	2	1	0	0	1	2	0	4,4	1,2	4,9	40	2,2	3	7,2	3
15	1	0	1	0	0	0	1	2	12,2	1,9	8,0	45	10	13	38,4	3
16	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	0,1	0,3	5	0,2	2	0,2	1
17	1	0	1	0	1	0	1	0	1,2	0,3	1,0	5	0,8	10	9,6	2
18	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1,1	4,5	65	2	2	4,8	1
19	0	0	0	0	0	0	0	1	1,2	0,2	0,7	10	1,2	7	9,6	1
20	0	0	0	0	0	0	1	0	0,6	0,2	0,7	10	0,6	4	4,8	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0
23	0	2	1	0	1	1	1	0	10	2,2	9,0	95	9	6	26,4	3
24	0	0	2	0	0	0	0	2	1	0,6	2,4	30	0,8	2	4,8	2
25	0	2	10	0	6	2	2	2	8,6	3,2	13,2	25	2,8	7	7,2	12
26	0	0	1	0	1	0	0	1	0,8	0,3	1,0	10	0,6	4	4,8	2
27	0	2	3	0	5	0	0	0	2,6	0,4	1,7	25	1,4	3	7,2	5
28	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0,2	0,7	10	1	6	9,6	1
29	0	0	1	0	0	0	1	0	0,2	0,1	0,3	5	0,2	2	2,4	1
30	1	0	3	0	0	0	1	3	19,6	1,8	7,6	70	18,4	15	45,6	4
RESUMEN MENSUAL DE INDICADORES																
SUMA	7	21	46	1	29	9	20	17	131	29,1	4,0					75
MÁXIMO	2	4	10	1	7	2	3	4	27,4	7,9	33,0	210	18,4	17,60	45,6	12

CONVENCIONES

F Fuerte
M Moderada
L Ligera
LL Llovizna
Ma Madrugada
Mi Mañana
T Tarde
N Noche

UNIDADES

min minutos
h horas
mm milímetros
% porcentaje

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de Junio de la temperatura promedio es de 21,38C° y la lluvia acumulada mensual es de 131,00mm.

Tabla 41. Resultados base de datos estación climatológica parque el lago mes de Julio de 2011.

RED HIDROCLIMATOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA																
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES (FACA)										LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)						
ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL LAGO ECT 001																
JULIO DE 2011																
	ALGUNOS INDICADORES DE LLUVIAS															
	Lluvias por tipo				Lluvias por jornada				Lluvia diaria (mm)	Duración lluvia diaria (h) (%)		Duración máx. lluvia aislada (min)	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)	Intensidad media máx. (mm/h)	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)	Cantidad de lluvias
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N								
1	0	0	2	0	2	0	0	0	6.4	2.6	11.8	165	6.2	2.3	4.8	2
2	0	2	3	1	1	2	3	0	4.2	1.3	5.6	20	1.6	4.8	9.6	6
3	0	0	1	0	0	0	1	0	0.2	0.1	0.3	5	0.2	2.4	2.4	1
4	0	0	1	0	0	0	1	0	1.8	0.8	3.1	45	1.8	2.4	7.2	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
6	1	0	2	0	1	1	1	0	44.2	5.3	21.9	105	38.6	22.1	62.4	3
7	0	0	1	0	0	0	1	0	0.2	0.1	0.3	5	0.2	2.4	2.4	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0.4	1.7	25	1	2.4	4.8	1
13	1	3	6	0	3	3	3	1	47.2	7.2	29.9	220	37.2	10.1	76.8	10
14	0	0	2	0	0	0	1	1	6	2.6	10.8	140	5.2	2.2	4.8	2
15	0	0	4	0	2	0	1	1	7.6	5.7	23.6	280	6.2	1.3	4.8	4
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
17	0	1	1	0	0	0	2	0	1.4	0.5	2.1	10	0.6	3.6	4.8	2
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
19	0	1	1	0	1	0	1	0	10.4	1.8	7.6	95	10	6.3	14.4	2
20	0	1	0	0	0	0	1	0	3.6	0.5	2.1	30	3.6	7.2	19.2	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0
27	0	1	2	0	2	0	1	0	1	0.3	1.4	10	0.6	3.6	4.8	3
28	1	1	4	0	0	2	3	1	7.2	1.8	7.6	25	4.4	10.6	26.4	6
29	0	1	6	0	4	3	0	0	15.6	5.3	22.2	130	9.6	4.4	19.2	7
30	0	1	2	1	3	1	0	0	30.6	6.1	25.3	230	27.8	7.3	33.6	4
31	0	1	1	0	0	0	1	1	0.6	0.2	0.7	5	0.4	4.8	4.8	2
RESUMEN MENSUAL DE INDICADORES																
SUMA	3	13	40	2	19	12	21	6	189.2	42.75	5.75					58
MÁXIMO	1	3	6	1	4	3	3	1	47.2	7.17	29.86	280	38.6	22.06	76.8	10

CONVENCIONES

F Fuerte
M Moderada
L Ligera
LL Llovizna
Md Madrugada
Mñ Mañana
T Tarde
N Noche

UNIDADES

min minutos
h horas
mm milímetros
% porcentaje

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de Julio de la temperatura promedio es de 21,15C° y la lluvia acumulada mensual es de 189,20mm.

Tabla 42. Resultados Base De Datos Estación Climatológica parque el lago Mes De Agosto De 2011.

RED HIDROCLIMATOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
(FACA) (SIG)
ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL LAGO ECT 001

AGOSTO DE 2011																	
ALGUNOS INDICADORES DE LLUVIAS																	
	Lluvias por tipo				Lluvias por jornada				Lluvia diaria (mm)	Duración lluvia diaria		Duración máx. lluvia aislada (min)	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)	Intensidad media máx. (mm/h)	Intensidad máx. en 5 minutos	Cantidad de lluvias	
	F	M	L	LL	Md	MR	T	N		(h)	(%)						
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
6	0	1	0	0	0	0	1	0	0.4	0.1	0.3	5	0.4	4.8	4.8	1	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
10	0	1	0	0	0	0	1	0	3.8	1.0	4.2	60	3.8	3.8	12	1	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
12	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0.5	2.1	10	0.6	3.6	4.8	2	
13	1	0	0	0	0	0	1	0	14.4	0.8	3.1	45	14.4	19.2	40.8	1	
14	0	1	3	0	0	1	2	4	4.6	1.4	6.9	50	3.4	4.1	9.6	4	
15	0	0	1	0	0	0	1	0	0.2	0.1	0.3	5	0.2	2.4	2.4	1	
16	0	1	0	0	0	0	1	0	3.2	0.8	3.5	50	3.2	3.8	0.6	1	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
18	1	0	3	0	2	0	1	1	9.6	1.7	6.9	30	7.4	14.8	24	4	
19	0	0	2	0	0	0	2	0	1.2	0.7	2.8	25	0.8	1.9	4.8	2	
20	0	0	7	0	0	1	2	4	3.4	1.7	6.9	35	1.2	2.1	2.4	7	
21	0	0	1	0	0	0	1	0	0.4	0.3	1.0	15	0.4	1.6	2.4	1	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
23	1	1	1	0	0	0	2	1	18	3.0	12.5	50	7.8	9.4	24	3	
24	0	0	3	0	0	2	1	0	0.6	0.3	1.0	5	0.2	2.4	2.4	3	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
27	0	0	1	0	0	0	0	1	1.4	0.7	2.8	40	1.4	2.1	4.8	1	
28	1	0	3	0	3	1	0	0	43.6	3.1	12.8	115	41.6	21.7	93.6	4	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
30	0	1	0	0	0	0	1	0	0.4	0.1	0.3	5	0.4	4.8	4.8	1	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0	0	
RESUMEN MENSUAL DE INDICADORES																	
SUMA	4	7	26	0	5	6	17	9	106.2	16.0	2.2					37	
MÁXIMO	1	1	7	0	3	2	2	4	43.6	3.1	12.8	115	41.6	21.70	93.6	7	

CONVENCIONES

F Fuerte
M Moderada
L Ligera
LL Llovizna
Md Madrugada
MR Mañana
T Tarde
N Noche

UNIDADES

min minutos
h horas
mm milímetros
% porcentaje

Fuente: Grupo de co-investigadores

El promedio mensual para el mes de Agosto de la temperatura promedio es de 21,40C° y la lluvia acumulada mensual es de 106,20mm.

Tabla 43. Resultados Base De Datos Estación Climatológica parque el lago Mes De Septiembre De 2011.

RED HIDROCLIMATOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES (FACA) LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)
ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL LAGO ECT 001

SEPTIEMBRE DE 2011																	
	ALGUNOS INDICADORES DE LLUVIAS																
	Lluvias por tipo				Lluvias por jornada				Lluvia diaria (mm)	Duración luma diaria		Duración máx. luma aislada (min)	Magnitud máx. luma aislada (mm)	Intensidad media máx. (mm/h)	Intensidad máx. en 5 minutos	Cantidad de lluvias	
	F	M	L	LL	Md	Mñ	T	N	(h)	(%)							
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0,0	0	0	
7	0	1	1	0	0	0	2	0	2,2	0,8	3,1	40	2	3,0	4,8	2	
8	0	1	5	0	1	0	2	3	2,2	0,9	3,8	15	1	4	4,8	6	
9	0	0	2	0	0	1	0	1	1,2	0,8	3,5	45	1	1,3	4,8	2	
10	0	2	2	0	0	1	1	2	14,2	3,7	15,3	135	10,4	4,6	16,8	4	
11	0	0	2	0	1	1	0	0	1,8	1,5	6,3	85	1,5	1,1	2,4	2	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	
15	1	0	0	0	0	0	1	0	2,2	0,3	1,0	15	2,2	8,8	16,8	1	
16	0	0	3	0	0	1	1	1	2	0,8	3,5	40	1,6	2,4	0,8	3	
17	0	1	3	0	0	0	3	1	3,2	1,8	7,3	25	1,6	3,8	9,6	4	
18	1	3	2	0	1	1	3	1	46,4	6,4	26,7	145	25,4	10,5	55,2	6	
19	0	1	3	0	1	0	0	3	2	0,6	2,4	20	1,4	4,2	7,2	4	
20	0	1	2	0	1	1	1	0	2,6	0,6	2,4	20	2	6,0	12	3	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	
23	0	1	0	0	0	0	1	0	0,4	0,1	0,3	5	0,4	4,8	4,8	1	
24	0	1	2	1	2	2	0	0	1,4	0,7	2,8	5	0,6	7,2	7,2	4	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	
26	0	1	0	0	0	0	1	0	0,8	0,2	0,7	10	0,8	4,8	7,2	1	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0,0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	
29	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0,3	1,0	15	1	4	7,2	1	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0	
RESUMEN MENSUAL DE INDICADORES																	
SUMA	2	14	27	1	7	8	17	12	83,6	19,3	2,7					44	
MÁXIMO	1	3	5	1	2	2	3	3	46,4	6,4	26,7	145	25,4	10,5	55,2	6	

CONVENCIONES

F Fuerte
M Moderada
L Ligera
LL Llovizna
Md Madrugada
Mñ Mañana
T Tarde
N Noche

UNIDADES

min minutos
h horas
mm milímetros
% porcentaje

Fuente: Grupo de co-investigadores.

El promedio mensual para el mes de enero de la temperatura promedio es de 21,28C° y la lluvia acumulada mensual es de 83,60mm.

Tabla 44. Resultados Base De Datos Estación Climatológica parque el lago Mes De Octubre De 2011.

RED HIDROCLIMATOLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE RISARALDA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES LABORATORIO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
(FACA) (310)

ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL LAGO ECT 001

OCTUBRE DE 2011																
ALGUNOS INDICADORES DE LLUVIAS																
	Lluvias por tipo				Lluvias por lornada				Lluvia diaria (mm)	Duración lluvia diaria		Duración máx. lluvia aislada (min)	Magnitud máx. lluvia aislada (mm)	Intensidad media máx. (mm/h)	Intensidad máx. en 5 minutos (mm/h)	Cantidad de lluvias
	F	M	L	LL	Md	MN	T	N		(h)	(%)					
1	1	0	2	0	1	1	1	0	19,6	1,7	6,9	90	19,2	12,8	50,4	3
2	0	1	4	0	0	0	3	2	3,8	1,1	4,5	25	2,4	5,8	24	5
3	0	2	2	0	0	1	2	1	10,6	2,3	9,7	115	9	4,7	21,6	4
4	1	1	4	0	1	2	3	0	37,4	6,8	28,5	170	24	8,5	31,2	6
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0
6	0	0	2	0	2	0	0	0	4,6	2,3	9,7	135	4,4	2,0	4,8	2
7	0	1	0	0	0	0	1	0	0,4	0,1	0,3	5	0,4	4,8	4,8	1
8	0	1	1	0	2	0	0	0	11	3,6	14,9	160	9,4	3,5	36	2
9	0	1	0	0	0	0	0	1	4,8	1,3	5,6	80	4,8	3,6	12	1
10	0	2	5	0	4	2	1	0	16,4	4,9	20,5	135	9,8	4,4	9,6	7
11	0	3	3	0	2	0	2	2	39	8,6	35,8	215	25,6	7,1	26,4	6
12	0	2	6	0	3	0	2	3	17,6	6,1	25,3	180	12,8	4,3	36	8
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0
14	0	0	6	0	0	0	3	3	1,6	0,8	3,5	25	0,6	1,4	4,8	6
15	0	2	1	0	0	0	0	3	19,8	3,8	15,6	215	19,2	5,4	52,8	3
16	0	2	3	0	0	0	3	2	30,6	7,8	32,3	280	20,6	4,4	21,6	5
17	0	2	7	1	4	0	4	2	26,2	6,8	28,1	105	12,2	7,0	24	10
18	0	0	4	0	3	1	0	0	3,2	2,2	9,0	75	1,6	1,3	4,8	4
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0
23	0	1	0	0	0	0	1	0	0,4	0,1	0,3	5	0,4	4,8	4,8	1
24	0	2	3	0	3	0	2	0	4,6	2,0	8,3	65	2,8	2,6	7,2	5
25	0	1	1	0	1	0	1	0	1,6	0,3	1,0	10	1,4	8,4	9,6	2
26	0	1	3	0	3	0	0	1	1,8	0,7	2,8	15	1	4,0	4,8	4
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0	0
28	0	2	5	0	2	1	3	1	15,8	5,5	22,9	135	8,4	3,7	19,2	7
29	0	1	0	0	0	0	0	1	6,6	2,3	9,4	135	6,6	2,9	19,2	1
30	2	1	2	0	3	1	1	0	60,6	4,6	19,1	105	30,2	17,3	91,2	5
31	0	1	0	0	0	0	1	0	3,4	0,5	2,1	30	3,4	6,8	21,6	1
RESUMEN MENSUAL DE INDICADORES																
SUMA	4	30	64	1	34	9	34	22	341,4	75,9	10,2					99
MÁXIMO	2	3	7	1	4	2	4	3	60,6	8,6	35,8	280	30,2	17,26	91,2	10

CONVENCIONES

F Fuerte
M Moderada
L Ligera
LL Llovizna
Md Madrugada
MN Mañana
T Tarde
N Noche

UNIDADES

min minutos
h horas
mm milímetros
% porcentaje



Fuente: Grupo de co-investigadores.

El promedio mensual para el mes de Octubre de la temperatura promedio es de 20,02C° y la lluvia acumulada mensual es de 341,40mm.

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.

Tabla # 46. 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	136.6	70	67
2	78.4	51	46
3	147.2	65	63
4	116.4	56	55
5	98.2	70	55
6	179.2	68	63
7	237	87	93
8	197	72	66
9	98.2	54	52
10	46	57.6	53
11	75	57	57
12	90.6	79	75
13	71	95	101
14	85.4	51	53
15	23.6	68	70
16	41.6	59	50
17	43	62	61
18	100.6	82	109
19	125	115	122
20	121.6	100	99

Fuente: grupo de co-investigadores

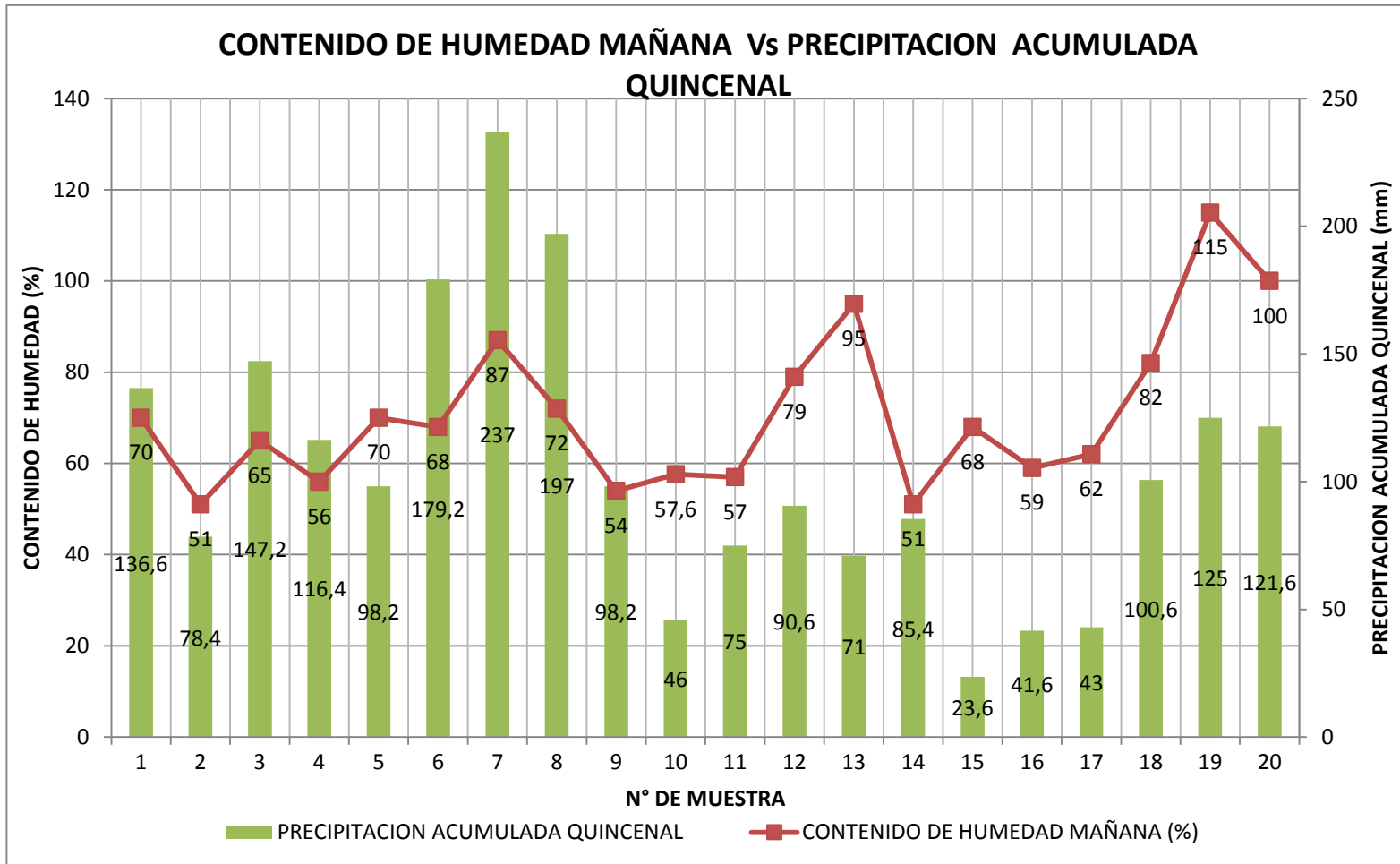


Figura 27. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad mañana.

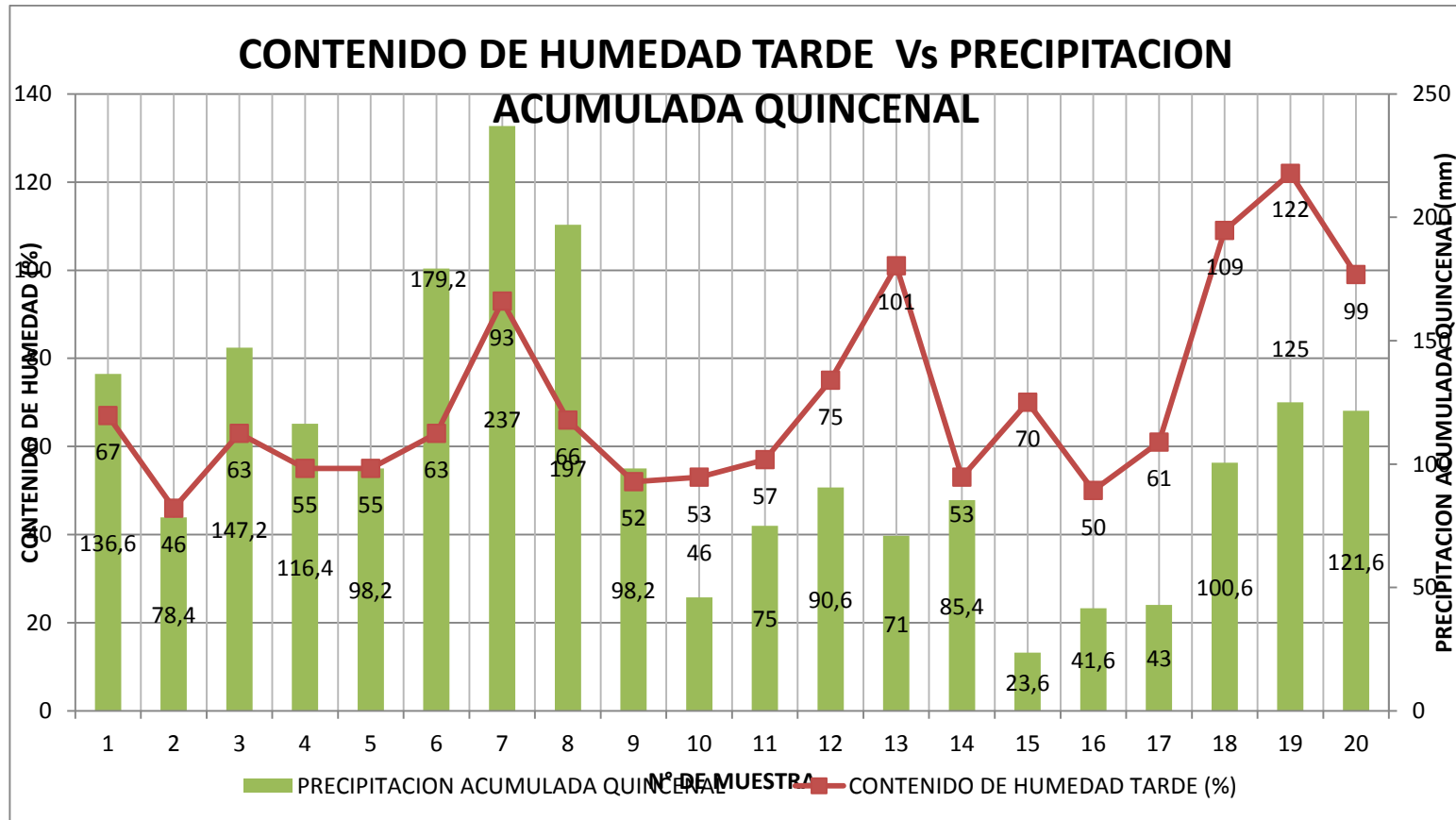


Figura 28. Correlaciones lluvia acumulada quincenal vs contenido de humedad tarde.

8.4.2 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.

Tabla # 47. 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	274.2	70	67
2	198.4	51	46
3	206.2	65	63
4	200.6	56	55
5	237.6	70	55
6	286.4	68	63
7	378	87	93
8	374.2	72	66
9	327.4	54	52
10	165.94	57.6	53
11	125	57	57
12	137.4	79	75
13	147.7	95	101
14	181.4	51	53
15	130.2	68	70
16	115.8	59	50
17	132	62	61
18	126.6	82	109
19	170.8	115	122
20	172.2	100	99

Fuente: grupo de co-investigadores

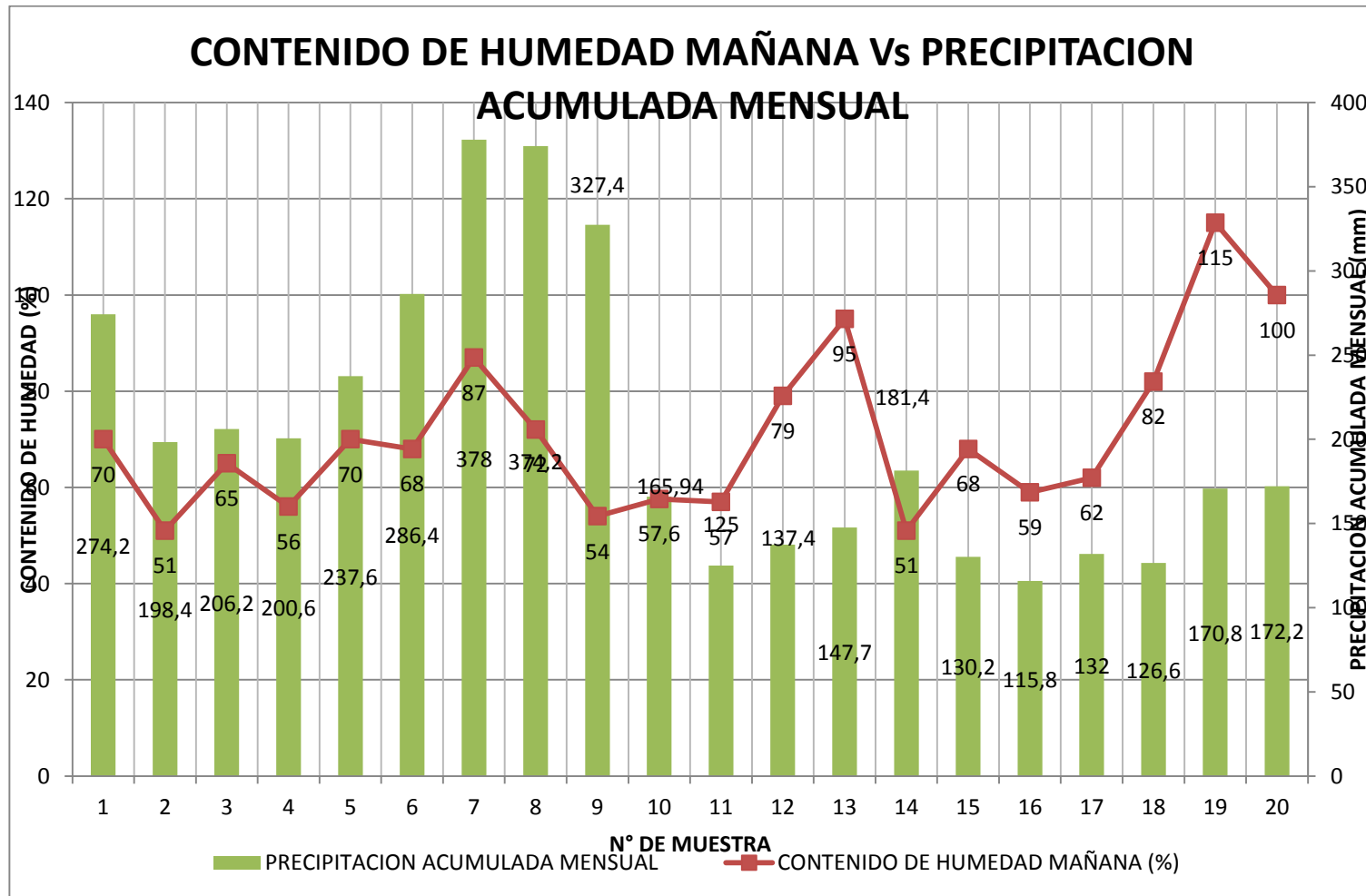


Figura 29. Correlaciones precipitación acumulada mensual vs contenido de humedad mañana.

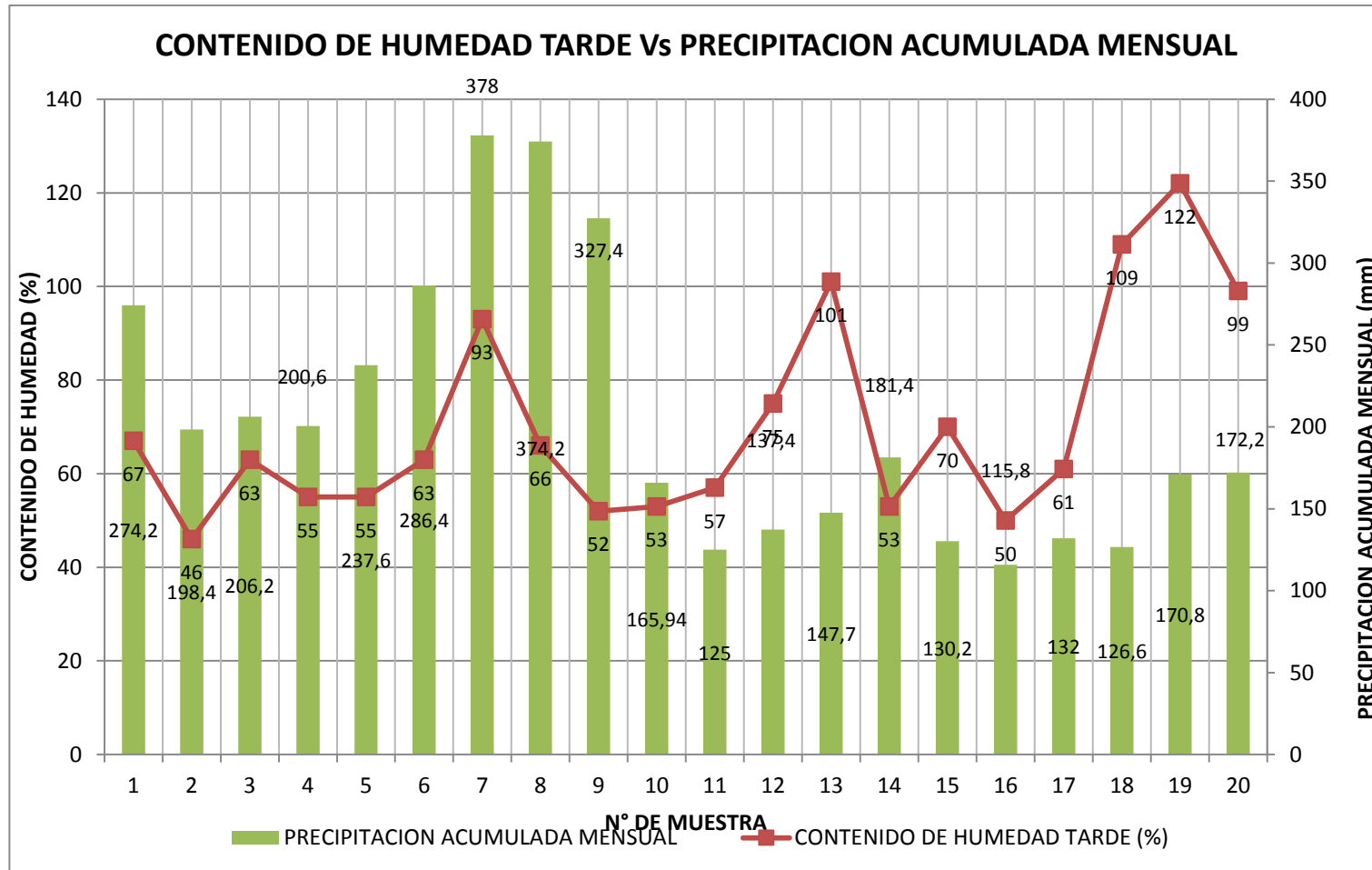


Figura 30. Correlaciones precipitacion acumulada mensual vs contenido de huemdad tarde.

8.4.3 Valores tomados para realizar las correlaciones contenido de humedad Vs lluvia acumulada.

Tabla # 48. 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	203.6	74	64
2	298.2	164	82
3	306.2	71	61
4	234.1	71	75
5	295.8	67	71
6	370.6	51	50
7	492.6	66	95
8	477	80	85
9	462	63	57
10	422	58	59
11	333.8	96	95
12	431.6	80	75
13	341	92	97
14	247.2	91	91
15	211.6	146	150
16	179.2	116	139
17	225	143	145
18	237.8	131	115
19	207	116	126
20	215.6	161	162

Fuente: grupo de co-investigadores.

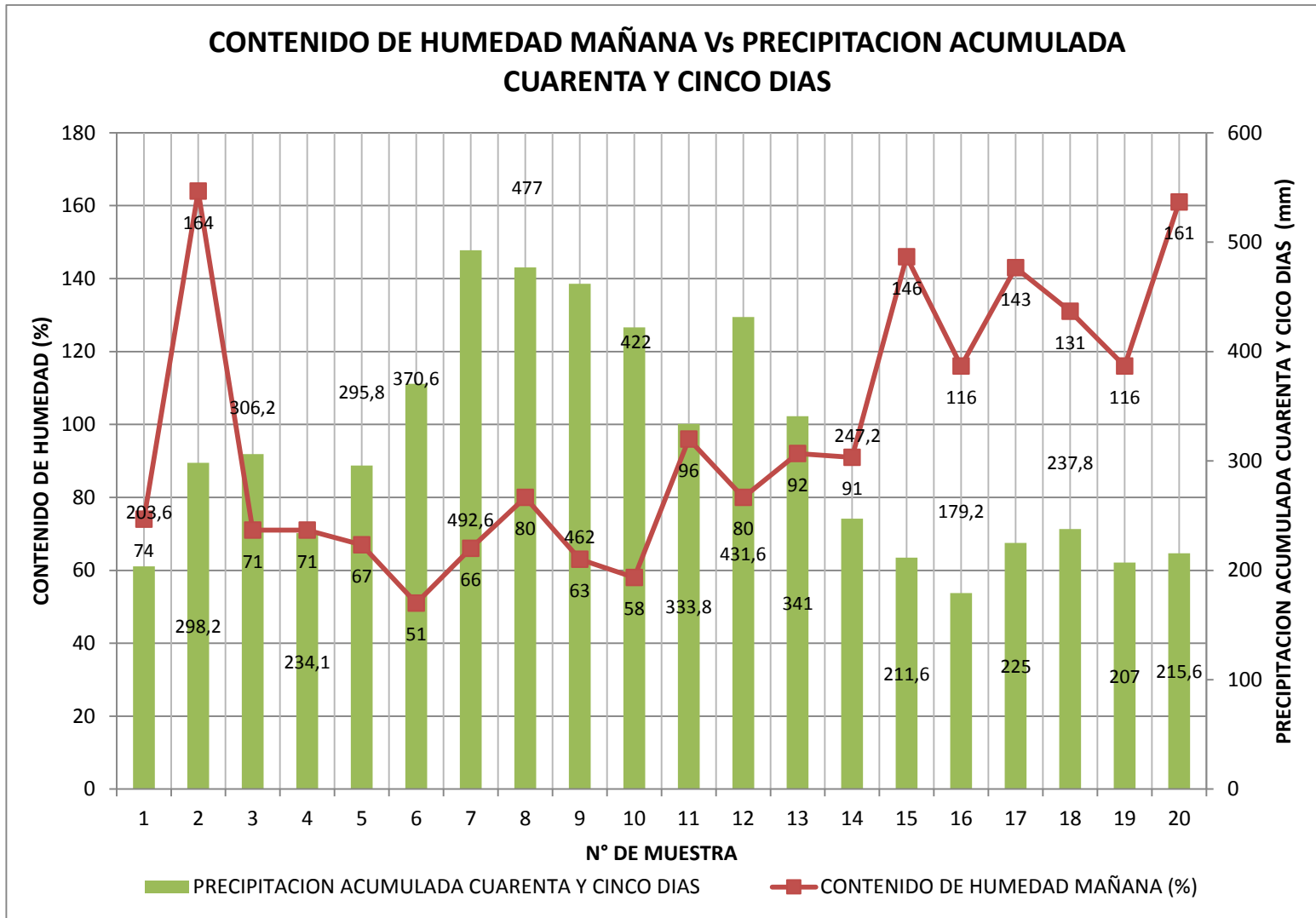


Figura 31. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad mañana.

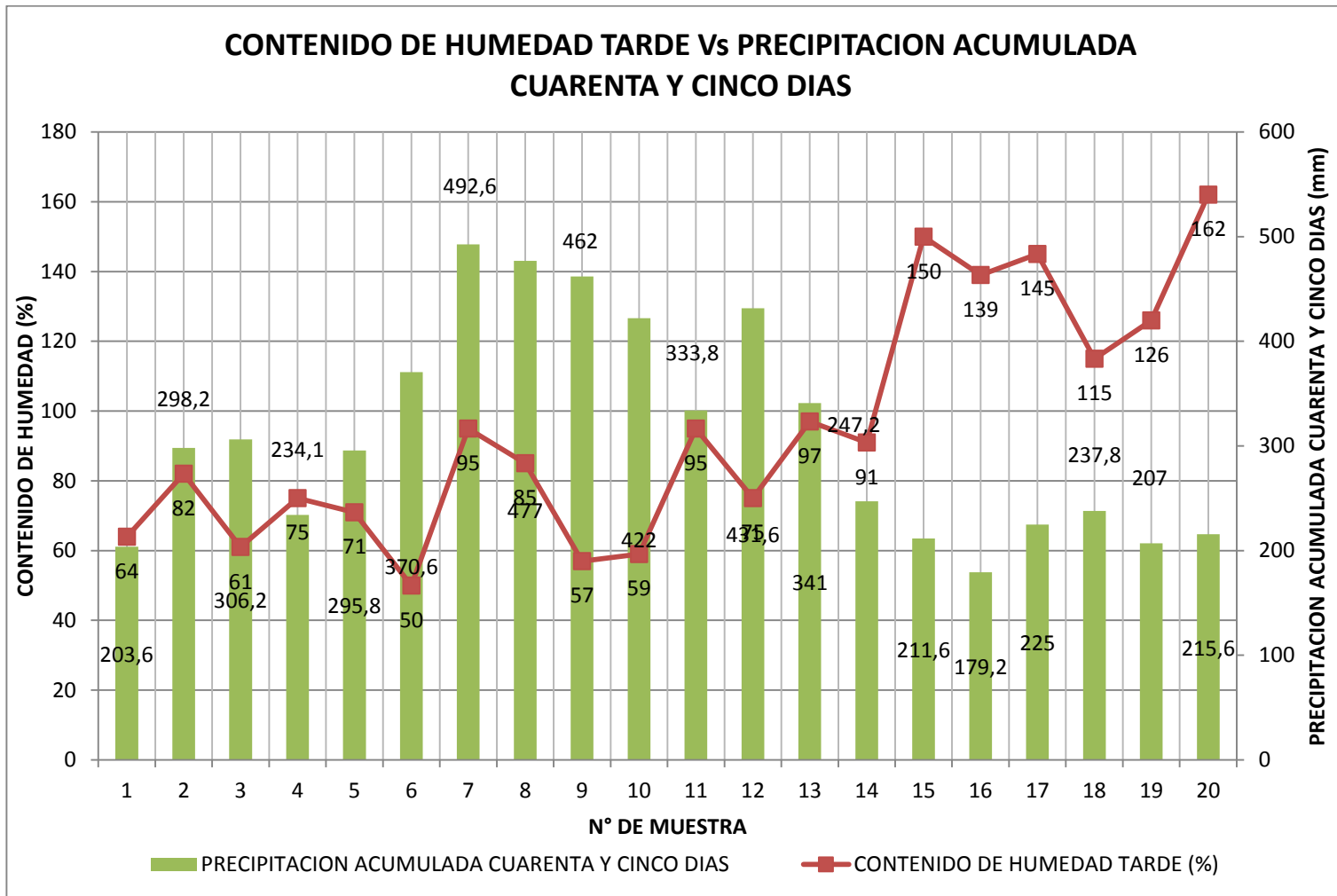


Figura 32. Correlaciones precipitaciones lluvia acumulada cuarenta y cinco días vs contenido de humedad tarde.



Dado que los valores acumulados de lluvia quincenal están por debajo de 172mm, 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 COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA se encuentran por debajo del 90% y sus lluvias acumuladas por debajo de 300.3mm 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.



Tabla # 49. Tabla de datos lluvia acumulada quincenal, mensual y cuarenta y cinco días con contenido de humedad.

MUESTRA	PRECIPITACION ACUMULADA QUINCENAL	PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL	PRECIPITACION ACUMULADA CUARENTA Y CINCO DIAS	CONTENIDO DE HUMEDAD MAÑANA (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD TARDE (%)
1	136.6	274.2	203.6	70	67
2	78.4	198.4	298.2	51	46
3	147.2	206.2	306.2	65	63
4	116.4	200.6	234.1	56	55
5	98.2	237.6	295.8	70	55
6	179.2	286.4	370.6	68	63
7	237	378	492.6	87	93
8	197	374.2	477	72	66
9	98.2	327.4	462	54	52
10	46	165.94	422	57.6	53
11	75	125	333.8	57	57
12	90.6	137.4	431.6	79	75
13	71	147.7	341	95	101
14	85.4	181.4	247.2	51	53
15	23.6	130.2	211.6	68	70
16	41.6	115.8	179.2	59	50
17	43	132	225	62	61
18	100.6	126.6	237.8	82	109
19	125	170.8	207	115	122
20	121.6	172.2	215.6	100	99

Fuente: grupo de co-investigadores.

8. 4. 4 Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación.

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

Tabla # 51. Datos obtenidos de saturación, contenido de humedad y precipitación.

FECHA	PROFUNDIDAD [m]	G_s	V_s [cm ³]	γ_w [g/cm ³]	γ_d [g/cm ³]	$W_s = G_s V_s \gamma_w$	$V_t = W_s / \gamma_d$	$V_v = V_t - V_s$	$S(100\%) = (V_v / V_t) \times 100$	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	PRECIPITACIÓN (mm)
16 de marzo de 2011	4.2	2.741	1.00	1.00	1.00	2.740866372	2.74	1.74	63.52	59.40	11.60
4 de mayo de 2011	3.0	2.741	1.00	1.00	0.95	2.740866372	2.89	1.89	66.78	64.60	0.00
25 de mayo de 2011	5.0	2.741	1.00	1.00	1.00	2.740866372	2.74	1.74	63.52	64.80	9.00
20 de julio de 2011	5.0	2.741	1.00	1.00	0.87	2.740866372	3.15	2.15	78.46	66.80	0.20

Fuente: grupo de co-investigadores.

Relaciones existentes entre contenido de humedad – grado de saturación Vs precipitación.

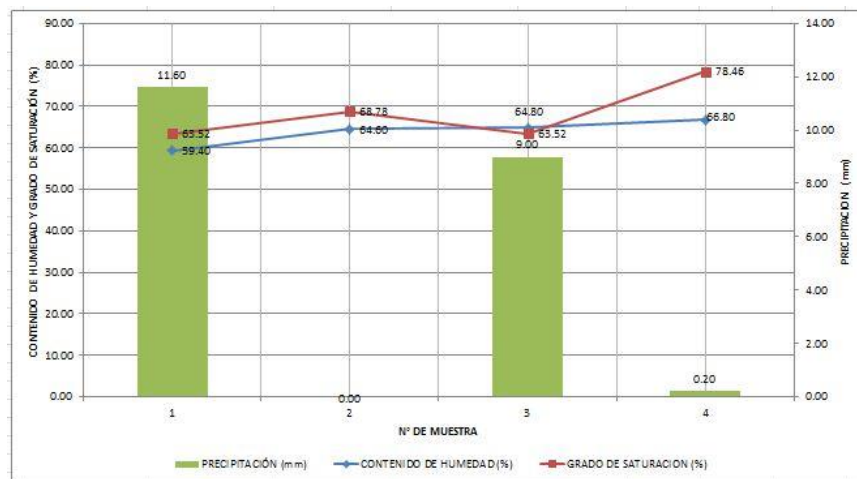


Figura 34. Correlación grado de saturación y contenido de humedad Vs precipitación.



De la gráfica anterior podemos observar que el suelo del talud del COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA 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.



9. CONCLUSIONES

El talud ubicado en el COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA presenta las siguientes características físico-geométricas, la longitud de talud de estudio es de 100 mts, una pendiente máxima de 67° y una mínima de 66.67° , una altura de 6mts en su parte más alta, y una altura de 4,5mts en su parte más baja, se observó poca cobertura vegetal del suelo lo cual incrementa la infiltración y la erosión del suelo.

Durante el tiempo que se realizó la investigación al talud ubicado en el COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA, se determinaron los parámetros geo mecánicos máximos y mínimos para las muestras alteradas los cuales se presentan a continuación:

Contenido de humedad con un valor máximo de 122 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 13 de Julio del 2011 y un contenido de humedad mínimo de 46 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 16 del mes de Marzo del 2011.

Limite líquido con un valor máximo de 76.59 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 30 de Marzo del 2011 y un límite líquido mínimo de 53.28% obtenido de la muestra extraída en horas de la mañana el día 13 del mes de Abril del 2011.

Limite plástico con un valor máximo de 66.49 % obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 18 de Mayo 2011 y un límite plástico mínimo de 43.96% obtenido de la muestra extraída en horas de la tarde el día 6 del mes de Julio del 2011.



Índice de plasticidad con un valor máximo de 14.64 % obtenido de la muestra extraída en la mañana el día 01 de Junio del 2011 y un índice de plasticidad mínimo de 1.46 % obtenido de la muestra extraída en la mañana el día 08 del mes de Junio del 2011.

En el tiempo que se realizó la investigación al talud ubicado en el COLEGIO DEOGRACIAS CARDONA, se determinaron los parámetros geo mecánicos máximos y mínimos para las muestras inalteradas obtenidas mediante las perforaciones los cuales se presentan a continuación:

Contenido de humedad valor máximo de 97.8 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 1.8 mts el día 25 de Mayo del 2011 en la terraza Alta y un contenido de humedad mínimo de 51.2 % obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 1.5 mts el día 06 del mes de Abril del 2011 en la terraza Alta.

Limite plástico con un valor máximo de 75 % obtenido de la muestra extraída en la terraza Alta a una profundidad de 2 mts el día 15 de Junio 2011 y un límite plástico mínimo de 53 % obtenido de la muestra extraída en la terraza Alta a una profundidad de 3.0 mts el día 16 del mes de Marzo del 2011.

Limite líquido con un valor máximo de 88 % obtenido de la muestra extraída en la terraza Alta a una profundidad de 2.0 mts, el día 15 de Junio del 2011 y un límite líquido mínimo de 63 % obtenido de la muestra extraída en la terraza Baja a una profundidad de 3.3 mts el día 16 del mes de Marzo del 2011.

Índice de plasticidad con un valor máximo de 19% obtenido de la muestra extraída en la terraza Baja a una profundidad de 4.8 mts, el día 06 de Abril del 2011 y un límite líquido mínimo de 5.0 % obtenido de la muestra extraída en la terraza Baja a una profundidad de 1.8 mts el día 04 del mes de Mayo del 2011.



Peso unitario húmedo con un valor máximo de 1.51 g/cm³ obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 5.0 mts, el día 25 de Mayo del 2011 y un peso unitario húmedo mínimo de 0.21 g/cm³ obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 3.0 mts el día 06 del mes de Abril del 2011.

Peso unitario seco con un valor máximo de 0.98 g/cm³ obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 1.8 mts, el día 04 de Mayo del 2011 y un peso unitario seco mínimo de 0.08 g/cm³ obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 5.0 mts el día 06 del mes de Abril del 2011.

Comprensión simple con un valor máximo de 2.03 g/cm³ obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 5 mts, el día 04 de Mayo del 2011 y un peso unitario seco mínimo de 0.49 g/cm³ obtenido de la muestra extraída a una profundidad de 1.5 mts el día 15 del mes Junio del 2011.

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 arcilloso) limo inorgánico y según la clasificación de la AASHTO (A-5, A 7-5) materiales limoso-arcilloso).

La temperatura promedio máxima obtenida durante la investigación fue de 23.8 Co registrada el 11 de Junio del 2011 y la temperatura promedio mínima registrada fue de 16.32 Co el 14 de Abril de 2011. La temperatura no fue un factor 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 15 de Abril del 2011 con un valor de 73.2 mm, la precipitación acumulada en el mes de Marzo: 200.6 mm, lluvia acumulada mes de Abril: fue: 374.20mm, lluvia acumulada mes de Mayo: 124.40 mm, lluvia acumulada mes de Junio: fue: 131 mm, lluvia acumulada mes de Julio: 189.20mm.



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 isométricas 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 geo referenciados 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 geotécnica. 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, Y Diaria. Revista Escuela De Ingeniería De Antioquia; Medellín. 2006. Numero 5. 59 – 69 p.
- Narváez D. Análisis De La Lluvia Como Elemento Detonante En La Ocurrencia De Movimientos En Masa En Las Comunas Atardeceres Y Macarena Sector Occidental De La Ciudad De Manizales. Trabajo de grado magister en medio



ambiente y desarrollo. Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Área de estudios ambientales urbanos. 2007.

- 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. Límites 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.

Relaciones Diferenciales Entre Los Parámetros Físico-Matemáticos Clásicos En Taludes Compuestos Por Cerdas Voladizas Y Las Variables Clásicas En Perfiles Cortos (S Head), Que Pueden Considerarse Como Un Condicionador De Las Propiedades Y Estabilidad Geotécnica De Los Suelos.

Anexo B. Ficha de caracterización.

RESPONSABLE: **GRUPO CO-INVESTIGADORES** DIA: 02 MES: 06 AÑO: 2011

LOCALIZACIÓN	
DEPARTAMENTO	RISQUELDO
MUNICIPIO	AGUIRA
COORDINADAS	N S C W
URBANO	Comuna
RURAL	Corregimiento
LOCALIZACIÓN	Santo-COLOMBIO DEGRUJUELOS CURDONA, Vereda.
ALTITUD (metros)	1540 metros

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS		USOS Y COBERTURA EN CUERPO DEL TALUD	
Grillo solar		Pastos	0% 20% 40% 60% 80% 100%
Temperatura Atmosf.	21 °C Prom.	Rastrojo	0% 20% 40% 60% 80% 100%
Precipitación	Promedio diario	Arboles	0% 20% 40% 60% 80% 100%
Humedad relativa		Cultivos	0% 20% 40% 60% 80% 100%
Bruma de infiltración		Otros	0% 20% 40% 60% 80% 100%

GEOMETRÍA DEL TALUD			
Altura	820 m	Pendiente Generalizada	___% ___° ___' ___"
Longitud	150 m	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Saca <input type="checkbox"/> Cóncava <input type="checkbox"/> Convexa <input type="checkbox"/> Combinada
Longitud cara libre	224 m		
Área	1400 m ²	Pendiente por tramos:	
Volúmen		1) 2) 3)	
Vol. Removible/Removible		Z Y X Y X Y X	
		Forma:	Forma: Forma: Forma:

120

Relaciones Diferenciales Entre Los Parámetros Físico-Matemáticos Clásicos En Taludes Compuestos Por Cerdas Voladizas Y Las Variables Clásicas En Perfiles Cortos (S Head), Que Pueden Considerarse Como Un Condicionador De Las Propiedades Y Estabilidad Geotécnica De Los Suelos.

VISTA FRONTAL DEL TALUD

INFRAESTRUCTURA CIRCUNVECINA						
	SUMA	CUMPO	CORONA	X	Y	Z
Edif.						
Edificios						
Tuberías de acueducto						
Tuberías de alcantarillado	X					
Redes de energía	X					
Cámaras y cámaras	X					
Pozos sépticos						
Otros			X			

OBRAS DE ESTABILIZACIÓN PRECORTES						
PERFILADO	Técnica	Tipos		X	Y	Z
MUROS	Cadenas	medios	<input type="checkbox"/>			
		completos	<input type="checkbox"/>			
MUROS	Cadenas reforzadas	completos	<input type="checkbox"/>			
		medios	<input type="checkbox"/>			
MUROS	Cadenas reforzadas	completos	<input type="checkbox"/>			
		medios	<input type="checkbox"/>			
MUROS	Cadenas reforzadas	completos	<input type="checkbox"/>			
		medios	<input type="checkbox"/>			
MUROS	Cadenas reforzadas	completos	<input type="checkbox"/>			
		medios	<input type="checkbox"/>			

120

Relaciones Diferenciales Entre Los Parámetros Físico-Matemáticos Clásicos En Taludes Compuestos Por Cerdas Voladizas Y Las Variables Clásicas En Perfiles Cortos (S Head), Que Pueden Considerarse Como Un Condicionador De Las Propiedades Y Estabilidad Geotécnica De Los Suelos.

SEÑALES	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
RECONSTITUCIÓN	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
Grapas	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
Malla forrajera	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
Rastreros	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
REINICIOS DE CARGAS	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
Cadenas horizontales	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
Cadenas de coronación	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
Cadenas a media talera	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
Cadenas de escurrimiento	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z
PROTEGOS	<input type="checkbox"/>	X	Y	Z

PRESENCIA DE AGUA				
NAF	Libre (visible)			
	Probabilidad (infiltración)			
Tipos de acueductos y alcantarillados	En corona	X	Y	Z
	En media talera	X	Y	Z
Presencia de cerchas de infiltración en coronas		X	Y	Z
		X	Y	Z

120



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



cohesivos requieren 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. Se ranura 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 intervalos: a) un cierre que requiera de 25 a 35 golpes; b) uno que requiere cierre entre 20 y 30 golpes y c) otro que requiera cierre entre 15 y 25 golpes .

7. se determina el contenido de humedad para cada uno de los ensayos mediante la 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 líquido

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: Limited 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 100 g de material que pasa el tamiz de 2,00 mm (No10), si el suelo es arenosa, o 60g si el suelo es arcilloso o limoso. Se coloca en el vaso de precipitados y se añade lentamente, al mismo tiempo se agita unos 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 confinada de suelos cohesivos.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1527

RESUMEN

El objetivo principal del ensayo de compresión confinada es obtener rápidamente un 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 moldeados.

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 remodelar 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

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 plastilina 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 continúa aplicando la carga hasta cuando la carga disminuya con incremento de deformación o hasta alcanzar una deformación igual a 15 %. La relación de deformación utilizada para ensayar muestras selladas puede disminuirse si se considera adecuada para obtener mejores resultados en el ensayo; en tal caso, esto debe anotarse en el informe, se determina el contenido de agua de la muestra ensayada a menos que se haya obtenido cortes representativos para este fin como en el caso de las muestras inalteradas. Se debe indicar en el informe si las muestras para contenido de humedad fue obtenida antes o después del ensayo de compresión.

1. 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.
2. Llenar la hoja de datos.



3. 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 el espécimen en un ambiente de temperatura y humedad controladas para minimizar la ganancia o pérdida de humedad.
- Debe tenerse mucho cuidado al preparar los especímenes inalterados de suelos sensitivos para prevenir la alteración natural del suelo. Se determina la masa inicial de la muestra húmeda que se utilizara para calcular el contenido inicial de agua y el peso unitario del espécimen.
- El diámetro mínimo el espécimen para la muestra circulares o el ancho para los especímenes cuadrado debe ser 50 mm, o no menos de 10 veces el diámetro máximo de partículas, lo que sea mayor, y de acuerdo ancho-espesor.
- El espesor mínimo inicial del espécimen debe ser de 12 mm, pero no menor que 6 veces el tamaño máximo de la partícula.



- La relación mínima entre el diámetro y el espesor debe ser de 2 a 1.

EQUIPO

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

PROCEDIMIENTO

Se arma la caja de corte.

MUESTRA INALTERADA

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

ESPECÍMENES COMPACTADOS

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

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

Se conecta y ajusta adecuada mente el instrumento de medición de desplazamiento horizontal utilizado para medir los desplazamientos de corte. Se



hace una lectura inicial o se coloca el instrumento de medición para indicar el desplazamiento cero.

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

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

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

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

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

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

Se aplica la carga normal deseada o incrementos sucesivos al espécimen y se registran las lecturas de la deformación normal contra el tiempo transcurrido. Para todos los incrementos de carga se debe verificar que la consolidación primaria 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 ha tenido lugar la consolidación primaria, se mueven los tornillos de alineamiento o los pines de la caja de corte. Se abre el espaciado 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 el 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: área 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:

- Base de datos climatológicos.
- Correlaciones.
- Datos de laboratorio
- Documento final.
- Documentos, normas Icontec.
- Ficha de caracterización.
- Fotos de talud y laboratorio.
- Resultados laboratorio.
- Plano en un archivo CAD