

**CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LOS SUELOS DEL CAMPUS DE
LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Y LOS BARRIOS EL BUQUE, JUAN
XXIII, SANTA MARTA, TINTO REDONDO, CHÍCHIRA Y EL PROGRESO
EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER.**

**ALEXANDER RODRÍGUEZ BLANCO
MANUEL ESTEBAN CANTILLO NAVARRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2006

**CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LOS SUELOS DEL CAMPUS DE
LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Y LOS BARRIOS EL BUQUE, JUAN
XXIII, SANTA MARTA, TINTO REDONDO, CHÍCHIRA Y EL PROGRESO
EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER.**

ALEXANDER RODRÍGUEZ BLANCO

MANUEL ESTEBAN CANTILLO NAVARRO

Trabajo de grado como requisito para optar al titulo de: GEÓLOGO

Director

CARLOS ALBERTO RIOS REYES

Geólogo, MSc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2006

TITLE: CHARACTERIZATION GEOTECHNICS OF THE SOILS OF THE CAMPUS OF THE UNIVERSIDAD DE PAMPLONA AND THE NEIGHBORHOODS EL BUQUE, JUAN XXIII, SANTA MARTA, TINTO REDONDO, CHÍCHIRA AND EL PROGRESO IN THE PAMPLONA CITY, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA.

**RODRÍGUEZ BLANCO, ALEXANDER¹
CANTILLO NAVARRO, MANUEL ESTEBAN²**

Key words: geology, lithology, laboratory rehearsals, geomechanics.

At the present time, the geology and the civil engineering experience especially a period of peak in the area of the urban development. One of the factors that facilitate their realization is having a good previous knowledge of the geologic materials with those that one must work. For it finds interesting, of a side, to standardize the rehearsal processes for the characterization geomechanics of rocks and of other, to have a systematic characterization of the behavior and of the values geomechanics "pattern" of the component materials of the soils but significant of a certain region, mainly, in the first evaluation stages and project of the works. This thesis embraces six objectives: carries out a revision lithologic of the geologic units that appear in the areas of interest that it bears to the elaboration of a geologic map that includes the neighborhoods to a scale 1:3000. - Elaborates maps morphometrics (maps of slopes). -Makes an analysis of the features morphometrics, geologic and hydrological by means of a photo interpretation that bears to a better understanding of the factors that intervene in the problem study object. - Develops a sampling of soils and routines of laboratory rehearsal. -Carries out analysis of natural humidity, rehearsals for the granular and fine thick classification of soils, indexes of plasticity, rehearsals of direct court that allows to characterize the soils that are in the study areas. -Elaborates a map of susceptibility of movements of mass removal.

¹ Facultad de Ingenierías Físico-Químicas (UIS). Escuela de Geología: Juan Diego Colegial

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas (UIS). Escuela de Geología: Juan Diego Colegial

TITULO: CARACTERIZACION GEOTECNICA DE LOS SUELOS DEL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA Y LOS BARRIOS EL BUQUE, JUAN XXIII, SANTA MARTA, TINTO REDONDO, CHÍCHIRA Y EL PROGRESO EN EL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA³.

**RODRÍGUEZ BLANCO, ALEXANDER⁴
CANTILLO NAVARRO, MANUEL ESTEBAN⁵**

Palabras Claves: geología, litología, ensayos de laboratorio, geomecánica.

En la actualidad, la geología y la ingeniería civil experimentan un periodo de auge especialmente en el área del desarrollo urbano. Uno de los factores que facilitan su realización es el tener un buen conocimiento previo de los materiales geológicos con los que se ha de trabajar. Por ello resulta interesante, de un lado, estandarizar los procesos de ensayo para la caracterización geomecánica de rocas y de otro, disponer de una caracterización sistemática del comportamiento y de los valores geomecánicos "patrón" de los materiales componentes del suelo mas significativos de una región determinada, sobre todo, en las primeras etapas de evaluación y proyecto de las obras. Esta tesis abarca seis objetivos: Realiza una revisión litológica de las unidades geológicas que afloran en las zonas de interés que conlleve a la elaboración de un mapa geológico que incluya los barrios a una escala 1:3000. -Elabora mapas morfométricos (mapas de pendientes). -Hace un análisis de los rasgos morfométricos, geológicos e hidrológicos mediante una fotointerpretación que conlleva a un mejor entendimiento de los factores que intervienen en la problemática objeto de estudio. -Desarrolla un muestreo de suelos y rutinas de ensayo de laboratorio. -Realiza análisis de humedad natural, ensayos para la clasificación de suelos grueso granulares y fino granulares, índices de plasticidad, ensayos de corte directo que permite caracterizar los suelos que se encuentran en las zonas de estudio. -Elabora un mapa de susceptibilidad de movimientos de remoción en masa.

³ Proyecto de grado (Investigación)

⁴ Facultad de Ingenierías Físico-Químicas (UIS). Escuela de Geología: Juan Diego Colegial

⁵ Facultad de Ingenierías Físico-Químicas (UIS). Escuela de Geología: Juan Diego Colegial

DEDICATORIA

Porque la luz de la vida sigue iluminando, aún después de la muerte.
Dedicado a la memoria de mi madre, Socorro.

Agradecimientos especiales por todo el aguante a:
Rufino mi padre, mis hermanos y tíos Yomar, Enrique, Dolly, Tanti, Carlos y por
supuesto a Juan Camilo, mi primogénito.
ALEXANDER

Porque gracias en papel no valen, solo pido a Dios tiempo para con acciones agradecer a todos los que me apoyaron, mis viejos, mi familia, mis amigos, gracias por su aguante.

MANUEL

Y por último y no menos importante a Oscar Castellanos por el compromiso con la palabra amistad y por la trascendencia en nuestra vida académica.

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
Figura 1,	Falla Geológica salida a Cúcuta.	4
Figura 2,	Ubicación del área de estudio, se muestra el curso del río Pamplonita que atraviesa la Cabecera Municipal de Pamplona Norte de Santander, modificado de Google Earth.	6
Figura 3,	Tomado del Mapa geológico del Cuadrángulo Pamplona (H-13), Colombia, Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras, 1977.	17
Figura 4,	Mapa geológico de la zona de estudio, se muestran UNIPAMPLONA y los barrios objeto de estudio.	20
Figura 5,	Imagen de satélite y lineamientos tectónicos. Imagen Satelital N-18-05_LOC Bandas roja y verde escala 1:300.000	29
Figura 6,	Fotografías aéreas y marcación de drenajes de la zona de estudio.	30
Figura 7,	Zona oriental del área de estudio, Barrio El Progreso	31
Figura 8,	Panorámica del coluvión sobre el cual esta asentado Pamplona, fotografía tomada E-W.	32
Figura 9,	Represamiento por deslizamiento río Pamplonita, vía a Cúcuta.	33
Figura 10,	Deslizamiento Barrios EL Buque – Santa Marta, sector de Loma Redonda .	33
Figura 11,	(a) Horizonte Barrio Juan XXIII, (b) Toma de probeta para corte directo Barrio Chíchira, (c) trinchera Barrio El Progreso.	35
Figura 12,	(a) Horizonte Trinchera 1 UNIPAMPLONA, (b) Trinchera Barrio El Buque, (c) Trinchera Barrio Tinto Redondo.	36
Figura 13,	Probeta para corte directo, al centro la probeta con la muestra empacada y etiquetada.	38
Figura 14,	(a) Mufla y Horno, (b) Pesado de muestras para humedades naturales, balanza Kern.	41
Figura 15,	Balanza OKAUS de 0,01 gr.	43
Figura 16,	Horno con temperatura regulada de 110 +5°C	44
Figura 17,	(a) Lavado sobre tamiz 200, (b) Preparación de muestras para el lavado en tamiz 200.	45
Figura 18,	Serie de tamices.	47

Figura 19,	Probetas e Hidrómetro, en análisis fino granular (Hidrometrías).	50
Figura 20,	Agente Dispersante.	51
Figura 21,	Preparación de muestra para Granulometría de finos.	53
Figura 22,	Toma de lecturas hidrómetro.	51
Figura 23,	(a) Cuchara Casa Grande, ranurador y calibrador, (b) Ranurador de Casa Grande.	61
Figura 24,	Muestra para límite Plástico.	63
Figura 25,	Esquema maquina corte directo, tomada de la página Web de la Universidad Católica de Valparaíso.	65
Figura 26,	Equipo para ensayo de corte directo POE-04.	67
Figura 27,	Dispositivo de Carga.	69
Figura 28,	Equipo resistente a la corrosión.	71
Figura 29,	Tablero de control.	72
Figura 30,	Difractómetro de polvo marca RIGAKU.	74
Figura 31,	Mapa de pendientes Barrio Juan XXIII.	76
Figura 32,	Mapa de pendientes Barrio El Progreso.	78
Figura 33,	Mapa de pendientes Barrio Chíchira.	79
Figura 34,	Mapa de pendientes Barrio Tinto Redondo.	81
Figura 35,	Mapa de pendientes Barrios El Buque – Santa Marta (Loma Redonda)	83
Figura 36,	Mapa de pendientes Universidad de Pamplona.	85
Figura 37,	Deslizamiento zona norte UNIPAMPLONA.	86

LISTA DE TABLAS

	Pag.	
Tabla 1,	Ejemplo etiquetas muestras de suelo	38
Tabla 2,	Resultados ensayo de humedad natural.	42
Tabla 3,	Serie de tamices	47
Tabla 4,	Corrección por temperatura.	56
Tabla 5,	Valores de K.	58
Tabla 6,	Clasificación de suelos	75

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. OBJETIVOS	1
1.1. OBJETIVO GENERAL	1
1.2. Objetivos Específicos	1
2. IMPACTO SOCIAL.....	3
3. LOCALIZACION GEOGRÁFICA	6
4. METODOLOGIA DE TRABAJO	7
4.1. ETAPA DE RECOPIACION Y REVISION BIBLIOGRAFICA	7
4.2. ETAPA DE CAMPO	7
4.3. ETAPA DE LABORATORIO	9
4.4. FASE DE ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS.....	13
4.5. ETAPA DE ESCRITURA DEL INFORME FINAL.....	13
5. ESTADO DEL ARTE	14
6. GEOLOGÍA	16
6.1. Marco Geológico y Tectónico de la zona norte de Pamplona – Norte de Santander.	16
6.1.1. Estructuras	18
6.1.1.1. Falla de Pamplona.....	18
6.2. Cartografía General de las Unidades Litológicas del Área de Estudio.	19

6.2.1. Rocas Metamórficas	19
6.2.1.1. Ortoneis	19
6.2.2. Rocas Ígneas.....	21
6.2.2.1. Pegmatitas	21
6.2.3. Rocas Sedimentarias.....	22
6.2.3.1. Formación Aguardiente	22
6.2.3.2. Formación Tibú-Mercedes.....	23
6.2.3.3. Formación Capacho.....	24
6.2.3.4. Depósitos Coluviales	26
7. GEOMORFOLOGIA	28
7.1. Características Geomorfológicos Principales	28
7.1.1. Paisaje tectónico.....	28
7.1.2. Fotointerpretación	31
7.1.3. Procesos geomorfológicos.....	32
8. GEOTECNIA	34
8.1. Generalidades	34
8.2. Toma de Muestras	34
8.3. Ensayos de laboratorio	39
8.3.1. Humedad Natural.....	39
8.3.2. Granulometría	42
8.3.2.1. Análisis Granulométrico Método Mecánico	42
8.3.2.2. Análisis Granulométrico Método del Hidrómetro.....	49
8.3.3. Límites de Atterberg.....	58
6.3.3.1 Límite Líquido.....	59
8.3.3.2. Límite Plástico	62
8.3.3.3. Cálculo de la Actividad	64
8.3.4. Corte Directo.....	65

8.3.5.	Difracción de rayos X.....	73
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
10.	CONCLUSIONES	87
11.	RECOMENDACIONES.....	90
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS	92
13.	ANEXOS.....	95

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una caracterización geotécnica de los suelos del campus de la universidad de Pamplona y los barrios el Buque, Juan XXIII, Santa Marta, Tinto Redondo, Chíchira y el Progreso en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.

1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Realizar una revisión litológica de las unidades geológicas que afloran en las zonas de interés que conlleve a la elaboración de un mapa geológico que incluya los barrios a una escala 1:3000.
- ✓ Elaboración de mapas morfométricos (mapas de pendientes).
- ✓ Hacer un análisis de los rasgos morfométricos, geológicos e hidrológicos mediante una fotointerpretación que conlleve a un mejor entendimiento de los factores que intervienen en la problemática objeto de estudio.
- ✓ Desarrollar un muestreo de suelos y rutinas de ensayo de laboratorio.

- ✓ Realizar análisis de humedad natural, ensayos para la clasificación de suelos grueso granulares y fino granulares que así lo ameriten, índices de plasticidad, ensayos de corte directo que permitan caracterizar los suelos que se encuentran en las zonas de estudio.

- ✓ Elaboración de un mapa de susceptibilidad de movimientos de remoción en masa.

2. IMPACTO SOCIAL

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de miles de millones de pesos cada año; sin embargo, muy pocas personas son conscientes de su importancia. Un alto porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Las zonas montañosas tropicales son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

Los factores que se presentan en la ciudad desde el punto de vista geológico tienen diversos orígenes, dentro de los cuales podemos nombrar como principales el tectonismo (ver figura 1) y las pendientes presentes en las zonas, que oscilan entre moderadas a altas.

Además de estos parámetros, se agrega la ubicación geográfica que tiene dicho municipio en el valle del río Pamplonita el cual hace parte de la Cordillera Oriental. La conjugación de estos fenómenos se refleja en el desmejoramiento en la calidad de la roca que hace las veces de soporte de la ciudad. Por lo tanto, una caracterización geotécnica de las zonas de

aparente riesgo en la ciudad puede ofrecer conclusiones que permitan conocer y entender mejor el problema y de esta forma dejar las bases sentadas para estudios posteriores.



Figura 1, Falla Geológica salida a Cúcuta.

Toda la problemática mencionada anteriormente afecta a toda la población que vive en la ciudad y su casco urbano, ya que estos fenómenos naturales no tienen ninguna regla que los rija y por consiguiente los seres humanos sufrimos las consecuencias de su furia; desafortunadamente ya se tienen registro de pérdidas de vidas humanas, así como el deterioro de estructuras (edificios, casas, carreteras, etc.), deslizamientos, represamiento de ríos y quebradas.

En Colombia las entidades gubernamentales se han especializado en el manejo de desastres, mas no en la prevención de los mismos y es este

punto en el que deben enfocarse las universidades, ya que el impacto social es en principio una de las premisas que tienen como misión institucional estos estamentos.

La Universidad Industrial de Santander proclama en su visión institucional que *“la vigencia social de la universidad se manifiesta en su participación activa en organismos de planificación local, regional y nacional, en agrupaciones de participación ciudadana para la proposición y el seguimiento de políticas y programas de desarrollo social, económico y cultural”*, siguiendo esta directriz este trabajo se hizo mediante un esfuerzo conjunto de los estamentos gubernamentales comprometidos en el mejoramiento de la infraestructura del municipio, buscando un incremento significativo en la calidad de vida de todos los habitantes de la ciudad y mejor control de los terrenos y suelos con posible potencial de construcción; impulsando el desarrollo que requiere un municipio tan importante en Norte de Santander.

3. LOCALIZACION GEOGRÁFICA

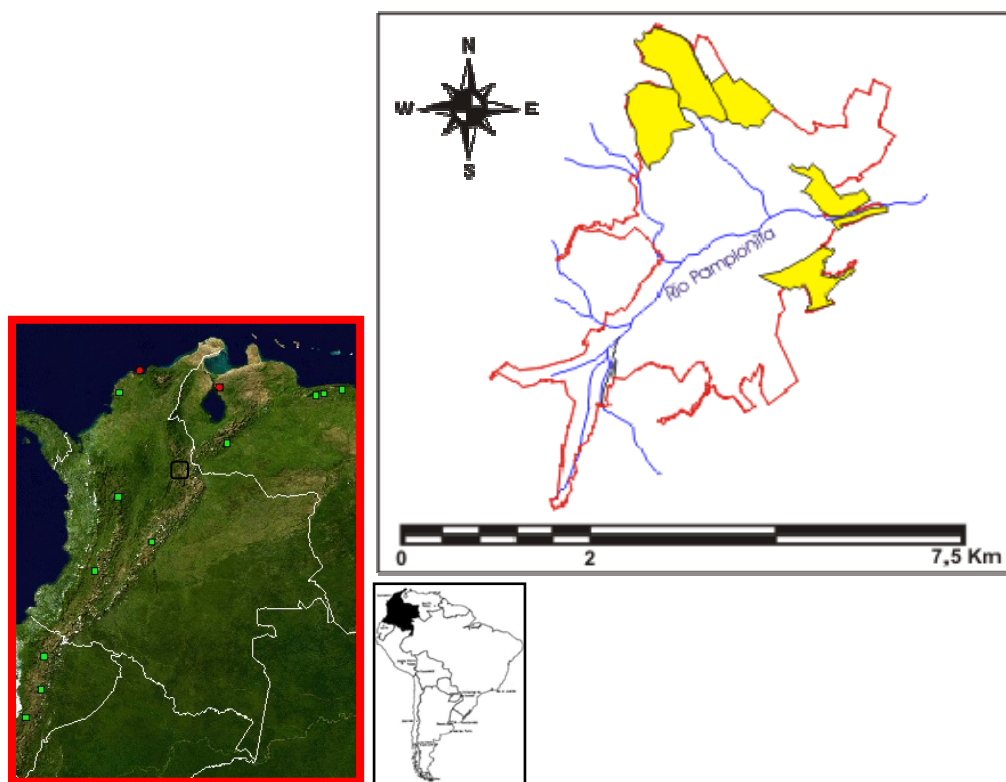


Figura 2, Ubicación del área de estudio, se muestra el curso del río Pamplonita que atraviesa la Cabecera Municipal de Pamplona Norte de Santander, modificado de Google Earth.

El municipio de Pamplona se encuentra localizado al Nororiente de Colombia, en el Departamento Norte de Santander y su ubicación geográfica es $07^{\circ} 22' 41''$ de latitud Norte y $72^{\circ} 39' 09''$ de longitud Oeste, su altura sobre el nivel del mar es de 2.300 m y su temperatura promedio es de $15,4^{\circ}\text{C}$ (ver Figura 2); Las zonas objeto de estudio están localizadas al Norte (UNIPAMPLONA y los Barrios El Buque- Santa Marta), al Este (Barrios Juan XXIII y Tinto Redondo) y al Sur-Este (Barrio Chíchira).

4. METODOLOGIA DE TRABAJO

La confiabilidad e integridad del estudio realizado se sustenta en la calidad del muestreo de campo y de los procedimientos analíticos de laboratorio. El desarrollo del presente estudio se fundamenta en la planificación y ejecución de las etapas dadas a continuación.

4.1. ETAPA DE RECOPIACION Y REVISION BIBLIOGRAFICA

Durante esta fase se llevo a cabo una recopilación y análisis de la bibliografía pertinente a la temática del proyecto a realizar, con el fin de establecer los criterios de detalle que orientarían el trabajo durante las etapas siguientes. La recopilación de la bibliografía se realizo en entidades como el INGEOMINAS (Seccional Bucaramanga), el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), la Universidad Industrial de Santander, CORPONOR y en Internet, recurriendo a publicaciones geológicas especializadas, tales como publicaciones seriadas, no seriadas, informes internos y tesis de grado.

4.2. ETAPA DE CAMPO

La etapa de campo se inicio con el reconocimiento de las áreas de interés en el municipio utilizando las planchas topográficas disponibles, cartografiando unidades litológicas y estructuras geológicas principales.

Durante esta etapa se realizaron levantamientos topográficos de cada sector de interés, para lo cual se contó con los equipos para topografía de la Universidad de Pamplona.

El método de levantamiento topográfico utilizado fue el taquimétrico en el que básicamente se determinan en forma indirecta las distancias horizontales y los desniveles mediante un teodolito que tenga en su retículo hilos taquimétricos, los cuales son paralelos al hilo horizontal del retículo, situados uno por encima y otro por debajo de él, equidistantes; para esta labor se requirió de una mira donde se tomaron las lecturas correspondientes a los tres hilos descritos.

Una vez realizados los levantamientos topográficos, se procedió a revisar las zonas de interés para determinar los sitios mas apropiados para llevar a cabo los muestreos con el fin de evitar problemas como redes de acueductos, redes eléctricas, siembras, entre otros, ya que estos muestreos se tuvieron que realizar en zonas pobladas dentro de los barrios, que son representaban las zonas de mayor interés para el proyecto.

Es necesario considerar que los procedimientos de muestreo inapropiados o inconsistentes producirán datos no confiables, los cuales podrían conducir a una interpretación errónea.

Las pruebas de campo durante el muestreo en las zonas previamente seleccionadas incluyeron: elaboración de trincheras de 1.80 m de profundidad promedio, descripción de los horizontes o niveles encontrados en cada trinchera, recolección de muestras de los mismos para los respectivos análisis de laboratorio, fotografías de los sitios de muestreo y documentación detallada del material recolectado.

4.3. ETAPA DE LABORATORIO

La preparación de las muestras, fue la siguiente fase de la metodología que se desarrollo, se realizó en campo o en laboratorio. Durante esta etapa puede ocurrir alguna contaminación de la muestra, por lo tanto, los procedimientos de preparación de las mismas fueron documentados en el reporte de investigación.

Ensayo de Humedad Natural

Dentro de las pruebas que se realizaron, las correspondientes a la humedad natural se desarrollaron en el laboratorio la Universidad de Pamplona utilizando la colaboración del laboratorio de suelos.

La determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco.

Referencias: ASTM D2216-71 (Normas ASTM parte 19)

Análisis Granulométrico – Método Mecánico

Estas pruebas se hicieron en la Universidad Industrial de Santander con la colaboración del laboratorio de suelos y pavimentos de ingeniería civil y el laboratorio de geología.

Referencias: AASHTO T87-70 (Preparación de la Muestra); AASHTO T88-70 (Procedimiento de prueba) ASTM D421-58 y D422-63.

Equipo: Juego de tamices, un pulverizador mecánico de suelo. Balanza de sensibilidad 0.1 g.

En la clasificación de los suelos para usos de ingeniería es universalmente acostumbrado utilizar algún tipo de análisis granulométrico. Una parte importante de los criterios de aceptabilidad de suelos para carreteras, aeropistas, presas de tierra, diques y otro tipo de terraplenes es el análisis granulométrico.

Las muestras fueron clasificadas según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS.

Análisis Granulométrico – Método del Hidrómetro (Hidrometrías)

Estas pruebas se hicieron en la Universidad Industrial de Santander con la colaboración del laboratorio de suelos y pavimentos de ingeniería civil.

Referencias: AASHTO T87-70 y T-88-70 ASTM D421-58 y D422-63

Equipo: Cilindro de sedimentación (cilindro de 1000 cm³), también conocido como *cilindro de hidrómetro*, Hidrómetro (modelo 152 H preferiblemente), aparato para dispersar el suelo (mezcladora de leche malteada). Agente dispersivo hexametáfosfato sodio (NaPO₃), o silicato de sodio (Na₂ SiO₃) también llamado *vidrio líquido*. Un baño de temperatura controlada para el cilindro del hidrómetro (opcional). Termómetro.

El análisis de hidrómetro es un método ampliamente utilizado para obtener un estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200 (0.075 mm) hasta alrededor de 0.001

mm, Las muestras fueron clasificadas según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS.

Índices de Plasticidad (Límites Líquido y Plástico de un Suelo)

Estas pruebas se hicieron en la Universidad Industrial de Santander con la colaboración del laboratorio de geología.

Referencias: AASHTO T89-68 y T90-70, ASTM 423-66 (Límite líquido) y D424-59 (Límite Plástico).

Los límites líquido y plástico son sólo dos de los 5 "límites" propuestos por A. Atterberg, un científico sueco dedicado a la agricultura (ca. 1911). Estos límites son:

Límite de cohesión. Es el contenido de humedad con el cual las boronas de suelo son capaces de pegarse una a otras.

Límite de pegajosidad. Es el contenido de humedad con el cual el suelo comienza a pegarse a las superficies metálicas tales como la cuchilla de la espátula. Esta condición tiene importancia práctica para el ingeniero agrícola pues se relaciona con la capacidad del suelo para adherirse a las cuchillas o discos del arado cuando se cultiva un suelo.

Límite de contracción. Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo.

Límite plástico. Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material no plástico.

Límite líquido. Es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

De los límites propuestos por A. Atterberg, se llevaron a cabo para cumplir los objetivos del trabajo las pruebas de Límite Líquido y Plástico.

Ensayo de Corte directo

Estas pruebas se hicieron en la Universidad Industrial de Santander con la colaboración del laboratorio de suelos y pavimentos de ingeniería civil.

Referencias: ASTM D3080-72

ASCE (1960), Conferencia de Investigación Sobre Resistencia al Corte en Suelos Cohesivos, Boulder, Colorado. ASTM (1964), Simposio Sobre Ensayos de Laboratorio para Esfuerzo Cortante en Suelos, *ASTM STP No. 361*. ASTM (1952), Ensayo de Corte Directo en Suelos, *ASTM STP No. 131*. Lee, K. L. (1970), Comparación de Ensayos Deformación Planas y Triaxiales sobre Arenas, *J. SoilMech. Found. Div., ASCE, SM-3*, Mayo pp. 901-923.

El ensayo de corte directo impone sobre un suelo las condiciones idealizadas. O sea, induce la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas (o esfuerzos), un esfuerzo normal debido a una carga vertical, aplicada externamente y un esfuerzo cortante debido a la aplicación de una carga horizontal.

4.4. FASE DE ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

Durante esta fase se llevo a cabo la interpretación de datos, los cuales incluyen, entre otros, datos de campo, datos analíticos y datos de prueba in-situ (campo o laboratorio). Esta fase igualmente contemplo la elaboración de mapas de pendientes, mapa de suelos y mapa de riesgos de las zonas de interés.

4.5. ETAPA DE ESCRITURA DEL INFORME FINAL

Durante esta fase se realizará el informe final del estudio realizado, con los resultados obtenidos, así como algunas recomendaciones para el desarrollo de futuros estudios.

5. ESTADO DEL ARTE

Un estudio detallado de cartografía, geología e investigaciones de campo fue desarrollado entre octubre de 1965 y septiembre de 1968 por el INGEOMINAS y el U.S. Geological Survey, con el apoyo del Gobierno de Colombia y la Agency for International Development, U.S. Department of State. Los resultados de dicho estudio se resumen en Ward et al. (1973). El área de estudio forma parte de los cuadrángulos H-12, Pamplona, H-13, Bucaramanga, I-12 y I-13, San Gil y Málaga, cuya cartografía esta representada en los mapas geológicos a escala 1:100.000 presentados por Ward et al. (1969a, 1969b, 1970).

La cartografía detallada a escalas 1:10.000 y 1:25.000 en diferentes áreas del macizo de Santander, incluyendo el área de interés para el presente estudio, ha venido realizándose desde 1983 por parte de profesores y estudiantes de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Aunque no existe mucha información disponible acerca de estudios geotécnicos llevados a cabo en la zona de estudio podemos referirnos puntualmente al “*Estudio General de Suelos y Zonificación de tierras del Departamento de Norte de Santander*” elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en el que se analizaron tres (3) estudios generales de suelos ejecutados en 1982, 1988 y 1992 por la Subdirección Agrológica; el primero de ellos de la región Norte del Departamento que corresponde a los

municipios de Convención, El Carmen, La Playa, Ocaña, San Calixto, Teorama, El Tarra, Hacarí y Tibú. El segundo, de la parte Central del Departamento, que comprende los municipios de Ábrego, Bucarasica, Cáchira, Cúcuta, Durania, El Zulia, Gramalote, Lourdes, Salazar de las Palmas, San Cayetano, Santiago, Sardinata, La Esperanza, Puerto Santander y Villacaro; y el tercero, de toda la región Sur del Departamento y comprende los municipios de Arboledas, Bochalema, Cécota, Cucutilla, Chinácota, Chitagá, Herrén, Labateca, Los Patios, Mutiscua, Pamplona, Pamplonita, Ragonvalia, Silos, Toledo, Villas del Rosario.

Dentro de las conclusiones del trabajo se tiene que en el paisaje de montaña, los suelos son altamente susceptibles a los procesos generados por los movimientos en masa (soliflucción, deslizamientos, reptación, desprendimientos de roca), y en el “*Lomerío*” y en los abanicos antiguos del Piedemonte los suelos están expuestos a procesos de escurrimiento difuso y concentrado. Los principales factores formadores de los suelos en los diferentes paisajes son el clima y el material parental.

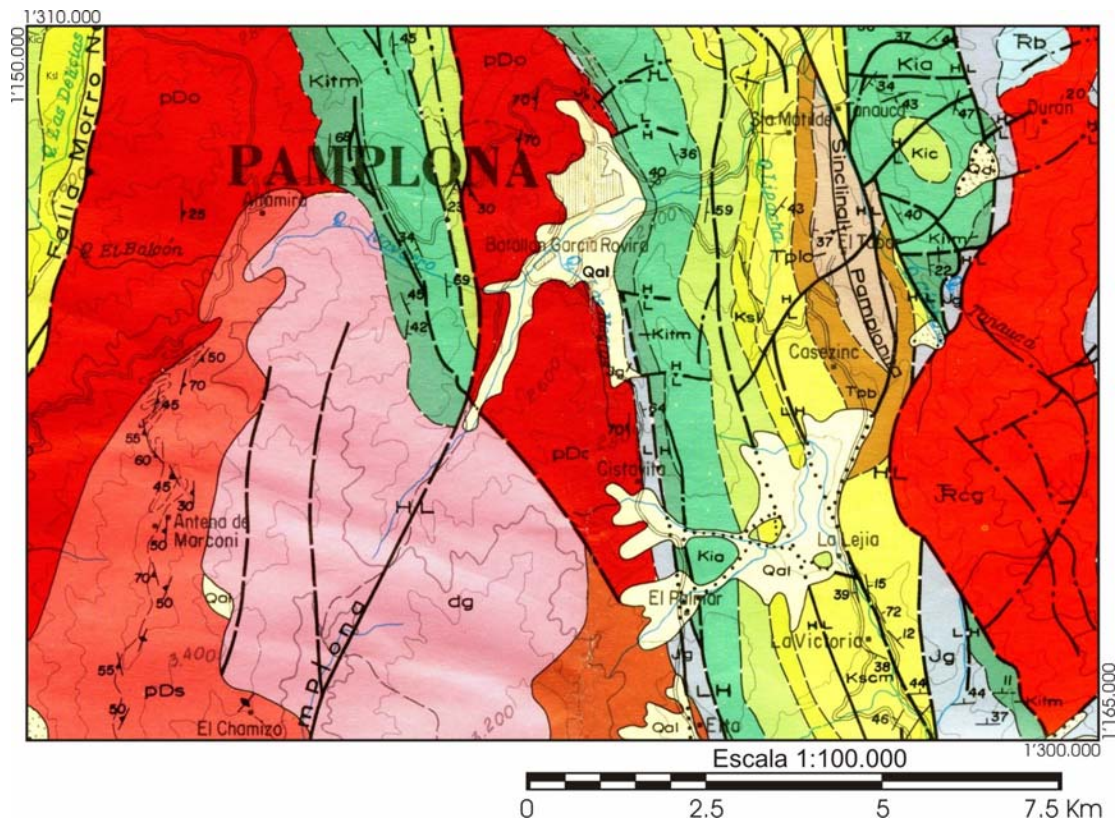
6. GEOLOGÍA

6.1. Marco Geológico y Tectónico de la zona norte de Pamplona – Norte de Santander.

La geología del área de estudio esta constituida por unidades geológicas de edad Devónica a Cuaternaria.

Rocas metamórficas de alto y medio grado, pertenecientes al Ortoneis, representan parte del basamento metamórfico del Macizo de Santander que aflora en el área. Sobre este basamento metamórfico descansan discordantemente rocas sedimentarias del Cretaceo correspondientes a las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente, pertenecientes al grupo Uribante, y Capacho todas estas pertenecientes al cretáceo.

La zona objeto de estudio ha sido afectada por eventos tectónicos que han generado intenso fracturamiento, plegamiento y en general grandes deformaciones. En el flanco oriental del Macizo de Santander, fallas generalmente de dirección N-S se extienden desde el borde norte del Cuadrángulo H-13 en las áreas de Pamplona y Mutiscua hacia el sur, hasta el área de Soatá (WARD et al., 1973); de acuerdo con estos autores, la mayoría de estos rasgos tectónicos parecen ser normales, algunos con grandes desplazamientos que ponen en contacto rocas del Paleozoico Inferior o del Precámbrico con rocas del Terciario.



Leyenda

Rocas Estratificadas

- Aluvi3n
- Colucci3n, Talud, derrumbes.
- Discordancia Angular**
- Formaci3n Barco, Arenisca pardo amarillenta a grisacea, dura, de grano fino; limolita, arenosa a lutita.
- Formaciones Col3n y Mito Juan
Mito Juan: Lutita Gris Verdosa; algunas capas limolíticas a arenosas; n3dulos limolíticos gris oscuro en la parte superior; mantos delgados de carb3n
Col3n: Lutita gris a gris oscura, poco calc3rea, con foraminíferos, n3dulos y lentes limolíticos.
- Formaci3n La Luna
Parte Superior: Caliza, Lutita silicea y chert en capas delgadas de color gris oscuro a negro, con foraminíferos; capas fosf3ticas en la parte superior.
Parte Inferior: Lutita negra, calc3rea con concreciones; caliza gris en capas delgadas.
- Formaci3n Capacho: Lutita gris oscura a negra, con caliza gris, masiva y fosilifera en las partes inferior y superior.
- Formaci3n Aguardiente: Arenisca clara, dura, de grano fino a grueso, con algunas capas de limolita y lutita carbon3cea.

- Formaciones Tibu y Mercedes
Mercedes: Caliza Gris, fosilifera, arenosa; lutita y arenisca de color gris oscuro.
Tibu: Caliza gris, fosilifera, con lutita gris oscura, en la base arenisca clara cuarcítica de grano grueso a conglomerático.

Discordancia Angular

- Formaci3n Gir3n: Arenisca conglomerática y conglomerados de color gris amarillento a pardo rojizo, masivos y lenticulares; limolita parda rojiza.

- Formaci3n Bocas: Arenisca y lutita de color gris a gris pardusco.

Discordancia Angular

- Formaci3n Silgará: Filita, esquistos y cuarcita, la mayoria de grado metam3rfico

- Neis de Bucaramanga: Paraneis y pocos esquistos; metamorfismo de alto grado, localmente con masas pequeñas de ortoneis.

Rocas Igneas

- Cuarzo Monzonita y Granito, biotítico y muscovítico, gris claro a rosado p3ldo, de grano medio.

- Granito Durania, blanco de grano medio a grueso, muscovítico.

- Neis Cuarzo monzonítico y granodiorítico.

Figura 3, Tomado del Mapa geol3gico del Cuadr3ngulo Pamplona (H-13), Colombia, Instituto Nacional de Investigaciones Geol3gico - Mineras, 1977.

6.1.1. Estructuras

Las diferentes unidades litológicas que afloran en el área de estudio sugieren que esta se ha estructurado a partir de una compleja historia geotectónica. Otros procesos de menor escala pero no menos importantes, están representados por venas y filones hidrotermales que cortan las unidades aflorantes en esta región. Las estructuras de deformación se enmarcan dentro de contextos dúctiles y frágiles claramente diferenciables a escala de afloramiento. Estructuras en contextos dúctiles corresponden principalmente a la esquistosidad de la roca, lineaciones minerales, venas de cuarzo concordantes con la esquistosidad, pliegues, boudines y ojos de cuarzo. Estructuras en contextos frágiles corresponden a diaclasas, fallas menores y mayores, así como venas de cuarzo que cortan la esquistosidad.

La Falla de Pamplona representa el accidente tectónico de mayor importancia en el sector estudiado.

6.1.1.1. Falla de Pamplona

La Falla de Pamplona se extiende desde el norte, y al oeste del Municipio de Pamplona, continúa con dirección sur a sur-suroeste, hasta terminar en la Falla de Morro Negro. A lo largo del trazo de esta falla, rocas metamórficas de la Formación Ortoneis en el bloque oriental están en contacto con una faja delgada de rocas sedimentarias del Cretáceo en el bloque occidental. Hacia el sur de Pamplona, esta falla corta al Granito de Durania, y más al sur pone en contacto a este cuerpo intrusivo con la Formación Silgará. Por otra parte en la zona de estudio se encontraron evidencias de fallamiento como brechas, cambios de pendiente pronunciadas, hundimientos en el terreno.

500m al Sur este del antiguo retén del DAS hacia la parte Norte de la Universidad de Pamplona se observaron afloramientos de areniscas bien cementadas con niveles menos resistentes y brechados con alto contenido de fósiles de conchas fracturadas y desarticuladas en una matriz limosa o lodosa con costras de calcita producto del lavado que actúan como cementante de la brechificación. Se destacan cambios considerables en los datos estructurales de estas capas en los puntos de control que se hicieron al Norte de la UP.

6.2. Cartografía General de las Unidades Litológicas del Área de Estudio.

En este trabajo luego de una revisión fotogeológica se hizo el control litológico (ver Figura 4) de la zona encontrando las siguientes unidades.

6.2.1. Rocas Metamórficas

6.2.1.1. Ortoneis

Según WARD et al. (1973, pp. 1-132), el Neis cuarzo feldespático desde granito a tonalita, está ampliamente distribuido en las rocas metamórficas de alto y medio grado de metamorfismo de edad pre-Devónico que forman el núcleo del macizo.

El aspecto masivo de estas rocas, la falta general de estratificación, excepto en escala total, la presencia de inclusiones endógenas y el hecho de que las composiciones correspondan a rocas magmáticas han conducido al uso del nombre para estas rocas, y la comparación de estas características con las rocas halladas en el campo evidencian que corresponde a esta unidad.

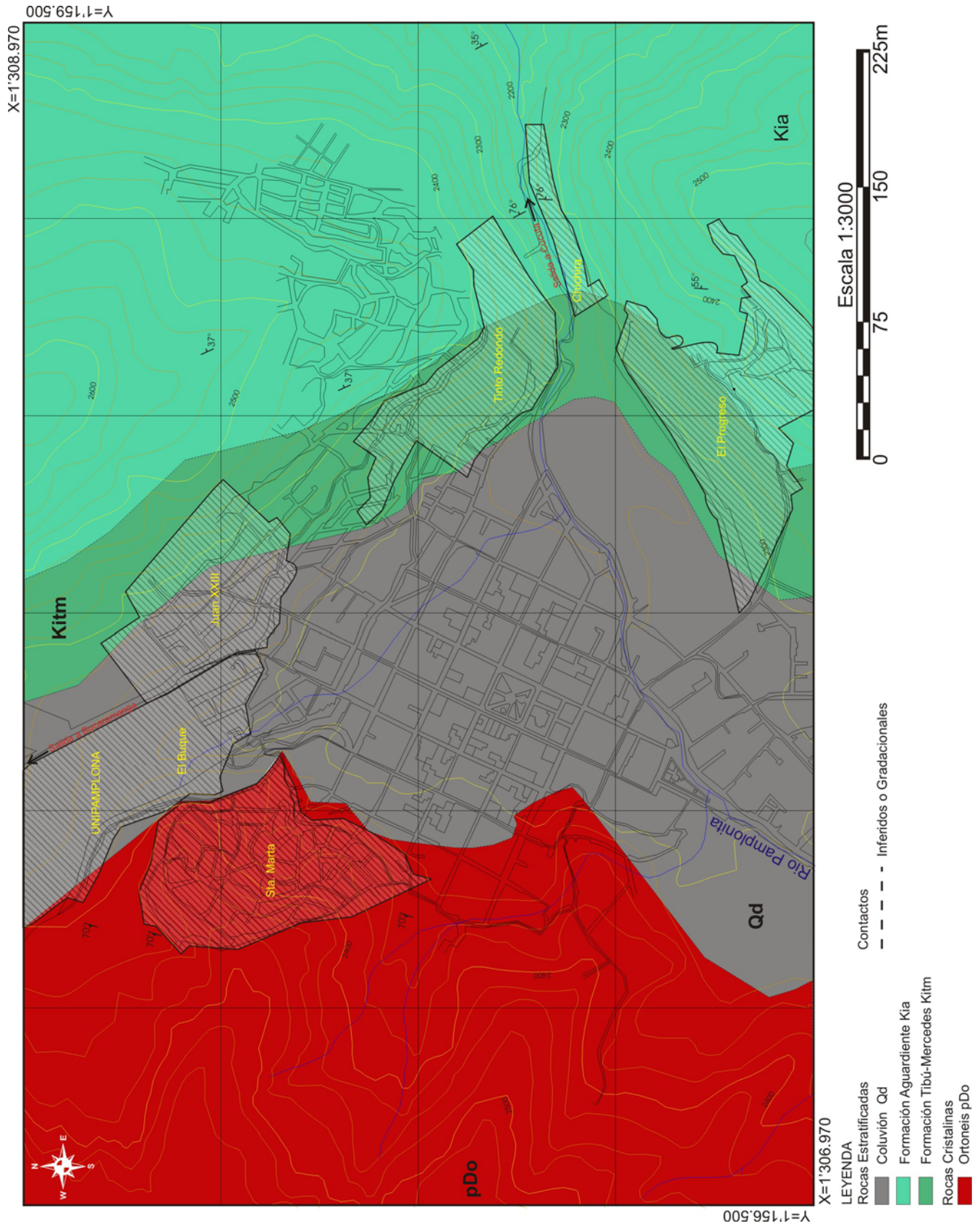


Figura 4, Mapa geológico de la zona de estudio, se muestran UNIPAMPLONA y los barrios objeto de estudio.

La paragénesis mineral y el grado de recristalización concuerdan en modo considerable con el grado de metamorfismo de las rocas adyacentes. La mayor parte del Ortoneis es bien pre- o sin- metamórfico o ambos a la vez. Algunas rocas cartografiadas como Ortoneis pueden ser en algunos sitios intrusivas, más jóvenes, cizalladas.

En la zona de estudio aflora al Oeste, presentando colores cafés con tonos rojizos oscuros altamente intemperizado con una estructura foliada y de textura néisica variando su resistencia de suave a dura (clasificación de dureza de rocas, Geología aplicada a la Ingeniería Civil) en dirección Oeste-Este hacia Pamplona en el recorrido que se hizo; los niveles mas resistentes se pueden relacionar con la presencia de venas pegmatíticas ricas en cuarzo aunque predominan los niveles mas suaves.

6.2.2. Rocas Ígneas

6.2.2.1. Pegmatitas

Según CAMPOS, (1999, 137p), este tipo de rocas se encuentra emplazado en las unidades metamórficas que afloran en el área de estudio. En general las pegmatitas son rocas de afinidad granítica de color blanco a blanco amarillento y se encuentran a manera de diques o venas concordantes o discordantes con la dirección de la foliación tanto en la Formación Silgará como en el Ortoneis. Una diferencia fundamental observada es que ocasionalmente las pegmatitas concordantes con la foliación, en la Formación Silgará, pueden contener granate como accesorio mientras que en el Ortoneis este no fue observado.

Las pegmatitas presentan generalmente estructura masiva; localmente pueden presentar variación en el tamaño de grano y en algunos casos este disminuye hacia el contacto con la roca encajante el cual es de carácter irregular. Ocasionalmente los cuerpos de mayores dimensiones forman apófisis con terminaciones redondeadas que se proyectan hacia la roca encajante sin orientación preferencial.

6.2.3. Rocas Sedimentarias

6.2.3.1. Formación Aguardiente

El Miembro Aguardiente se compone casi enteramente de areniscas glauconíticas, muy duras, calcáreas, de color verdoso o grisáceo, de grano fino a grueso y con estratificación cruzada. En los sondeos se ha observado que los 10 m superiores suelen no ser glauconíticos, pero el resto del miembro es rico en glauconita.

Existen interestratificadas algunas capas finas de shale negra, carbonosa y micácea y en la parte inferior se encuentran bien algunas capas finas de caliza. Localmente las areniscas son tan calcáreas que casi son calizas arenosas. El espesor varía entre 148 y 160 m tanto en los sondeos como en la Quebrada de Sta Elena.

El nombre procede del Filo del Aguardiente; allí el Miembro Aguardiente es más grueso que en la Concesión Barco y unos 25 km más al S, en el Río Peralonso alcanza los 275 m.

El Miembro Aguardiente se apoya sobre el Miembro Mercedes y se encuentran cubierto por la Formación Cogollo (en el sentido que se da en la

Concesión Barco a este término). NOTESTEIN, HUBMAN & BOWLER (1944, pp. 1173-1182) indican que no existe ningún salto brusco entre los Miembros Mercedes y Aguardiente. En cambio SUTTON (1946, p. 1646) indica que el contacto puede ser discordante, si bien añade que no existe ningún dato positivo que confirme esta suposición. ROD & MAYNC (1954, p. 209), indican que tanto en la base como en el techo el contacto es concordante. El contacto con la Formación Cogollo es gradual (SUTTON, 1946, p. 1646; ROD & MAYNC, 1954, p. 209).

6.2.3.2. Formación Tibú-Mercedes

El Miembro Tibú es el inferior de los tres miembros (Tibú, Mercedes, Aguardiente) en que NOTESTEIN, HUBMAN & BOWLER (1944, pp. 1173-1182) dividieron la Formación Uribante. En la base, el miembro Tibú presenta un banco de arenisca de 5 a 12m con pequeños cantos de cuarzo y que se hace calcárea y más fina hacia el techo. Por encima se encuentra una caliza gris compacta de 95 a 160 m de espesor, con alguna capa de shale y de arenisca hacia su parte baja; los 50 m superiores del Miembro Tibú están formados prácticamente sólo por caliza lo cual da lugar al carácter neto que tiene el límite superior de este miembro. El espesor total del miembro varía entre 107 y 117 m según datos de los sondeos, pero en la Quebrada de Santa Elena parece alcanzar los 166 m.

El Miembro Tibú aflora en la cabecera del Río Tibú (en la Concesión Barco), del cual toma su nombre. En la región de la Concesión Barco el Miembro Tibú se apoya discordante sobre el basamento paleozoico; su límite superior es concordante con el Miembro Mercedes; se trata de un límite neto.

El Miembro Mercedes está formado por una alternancia de calizas en parte arenosas, areniscas y «shales» en capas oscilando entre 3 y 20 m. Las shales forman gran parte del tercio inferior del miembro. Las areniscas son grises, de grano fino a medio en parte muy calcáreas y generalmente glauconíticas. Son más abundantes hacia la parte superior.

El límite inferior del Miembro Mercedes es neto ya que la parte alta del Miembro Tibú está formado por 50 m de calizas prácticamente sin intercalaciones lutíticas; el límite superior es gradual. El espesor, de acuerdo con los datos de los sondeos varía entre 149 y 201 m y es de unos 160 m en la Quebrada Santa Elena. El nombre del miembro deriva del Valle Mercedes a lo largo de cuya vertiente W aflora.

6.2.3.3. Formación Capacho

Aunque esta formación está localizada fuera del área objetivo, se hizo una revisión litológica hasta la zona denominada “*la curva de los adioses*”, que está sobre la vía que de Pamplona conduce a Cúcuta.

Según redefiniciones dadas por SUTTON (1946, pp. 117-119) y ROD & MAYNC (1954, , p. 202 y p. 210), la Formación Capacho corresponde a la sección comprendida entre la Formación Aguardiente (abajo) y la Formación La Luna (arriba). Con los mismos límites, en la Concesión Barco (Norte de Santander, Colombia), la misma unidad ha sido descrita como Formación Cogollo por NOTESTEIN *et al.* (1944, pp. 202, 210-212). Pero el nombre de Cogollo fue posteriormente adoptado como grupo, con una comprensión mucho más amplia. Para evitar los inconvenientes del uso simultáneo del término Cogollo con comprensiones distintas, MAYNC (in SCHWARCK ANGLADE, 1956, p. 117-119) y luego RICHARDS (1967) aconsejan

abandonar el término Formación Cogollo, substituyéndolo por la designación Formación Capacho, aún en la Concesión Barco.

NOTESTEIN *et al.* (1944, pp. 202, 210-212) dividieron la Formación Cogollo (o sea Capacho) en 3 miembros llamados, de abajo arriba: Lower Cogollo (esencialmente calcáreo), Middle Cogollo (en mayoría lutítico, con unas capas calizas especialmente hacia la mitad del Miembro, donde los autores han distinguido una "zona 3"), y Guayacán (esencialmente calcáreo). En Venezuela occidental, RENZ (1959, p. 9-10) introduce una subdivisión semejante, pero designa los 3 miembros como: La Grita, Lutita Seboruco y Guayacán.

RICHARDS (1967) declara que la Formación Maraca, definida en el Caño Maraca (vertiente venezolana de la Sierra de Perijá), puede seguirse hasta en la Concesión Barco, pero no se distingue claramente del Lower Cogollo = La Grita. Por eso RICHARDS propone separar, bajo el nombre de Formación Maraca, esta unidad calcárea situada entre la Formación Aguardiente arenosa (abajo) y el Middle Cogollo lutítico (arriba).

Por consiguiente, RICHARDS reduce la comprensión de la Formación Capacho a la sección situada encima de la Formación Maraca (incl. Lower Cogollo) y debajo de la Formación La Luna.

En su nueva definición, la Formación Capacho comprende, de abajo arriba: una parte lutítica (no nombrada), unas capas calizas (constituyendo el Miembro San Jerónimo de RICHARDS = Zona 3 de NOTESTEIN *et al.* 1944, pp. 202, 210-212), otra parte lutítica (no nombrada) y finalmente un miembro superior calizo (al que se conserva el nombre de Guayacán).

Variaciones- Según el mismo autor, la litología de la Formación Capacho es bastante uniforme dentro del área de la Concesión Barco. Sin embargo se nota un crecimiento de la proporción de caliza de W a E.

Esta caliza representa 10% de la sección en el flanco E del Macizo de Santander; sube a 30 % en el área de Cúcuta y hasta un máximo de 40 % más al SE en territorio venezolano, antes de decrecer rápidamente en las facies predominantemente clásticas de la fosa de Uribante.

El espesor total varía desde un máximo de 600 m (sección de Sardinata) hasta unos 100 m (SW de Zulia, Venezuela). La caliza San Jerónimo varía de 65 m (área de Sardinata) a 15 m (pozos de Barco y Tarra) ; la caliza Guayacán, de 100 m a 40 m, pero su distribución es discontinua en el área considerada.

Relaciones estratigráficas.— Ambos contactos, con Maraca ,abajo y con La Luna arriba, son concordantes, pero marcados por un cambio neto de litología.

6.2.3.4. Depósitos Coluviales

En estudios anteriores se definían los depósitos existentes en la zona como aluviales esto quizá debido a la interpretación fotogeológica dada principalmente por los primeros autores.

En el área de estudio se tuvo la oportunidad de verificar presencialmente que los depósitos a los que ellos hacen referencia constan principalmente de material de gran tamaño que varia de guijas, gravas hasta bloques con la particular característica de presentar bordes afilados los cuales indican poco transporte y que básicamente están allí producto de movimientos

gravitacionales y tectónicos siendo esto muy representativo de un depósito coluvial.

Estos depósitos están compuestos por materiales de rocas sedimentarias y metamórficas. Lógicamente no se puede descartar que hallan depósitos aluviales en la zona, solo que los depósitos coluviales son mucho más representativos en la zona por su gran extensión.

7. GEOMORFOLOGIA

La morfología (forma y características) de la superficie del terreno observado en una región dada, es el producto de la actividad de las fuerzas internas, del campo gravimétrico, la acción del agua, aire y el hielo que ejercen sobre las rocas y las someten a cambios constantes, en la superficie del terreno siempre estarán, como evidencia de ello, los suelos.

7.1. Características Geomorfológicas Principales

Dependiendo de la dureza y tipo de roca, del tectonismo y sedimentación y de las condiciones en que se mueva superficialmente tanto el agua como el hielo, aparecerán en una zona diferentes estadios con características geomorfológicas peculiares.

7.1.1. Paisaje tectónico

En la imagen de satélite de la Figura 5 se muestran los lineamientos tectónicos de Pamplona y sus alrededores, evidenciando una tendencia general N-S.

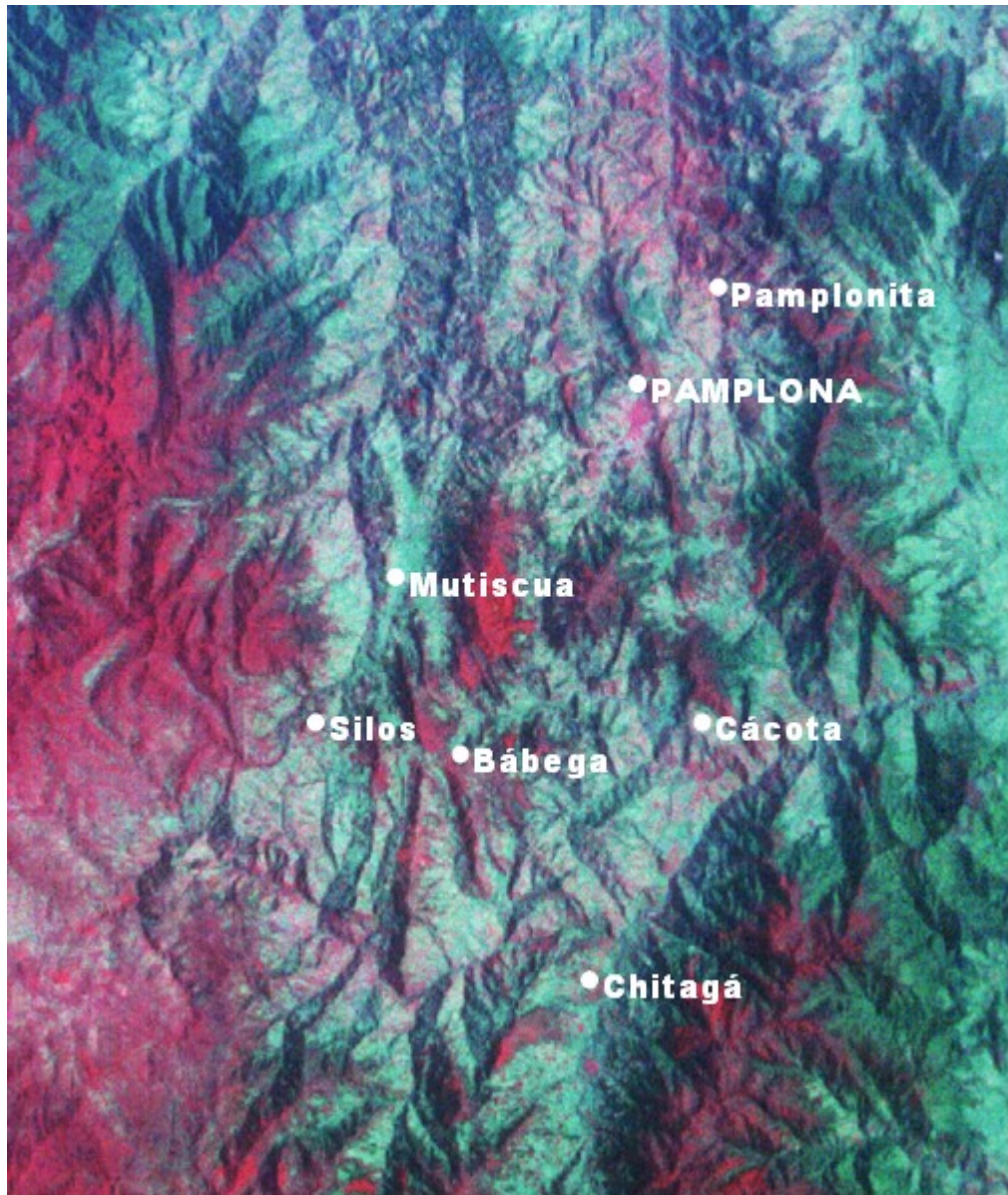


Figura 5, imagen de satélite y lineamientos tectónicos. Imagen Satelital N-18-05_LOC Bandas roja y verde
escala 1:300.000

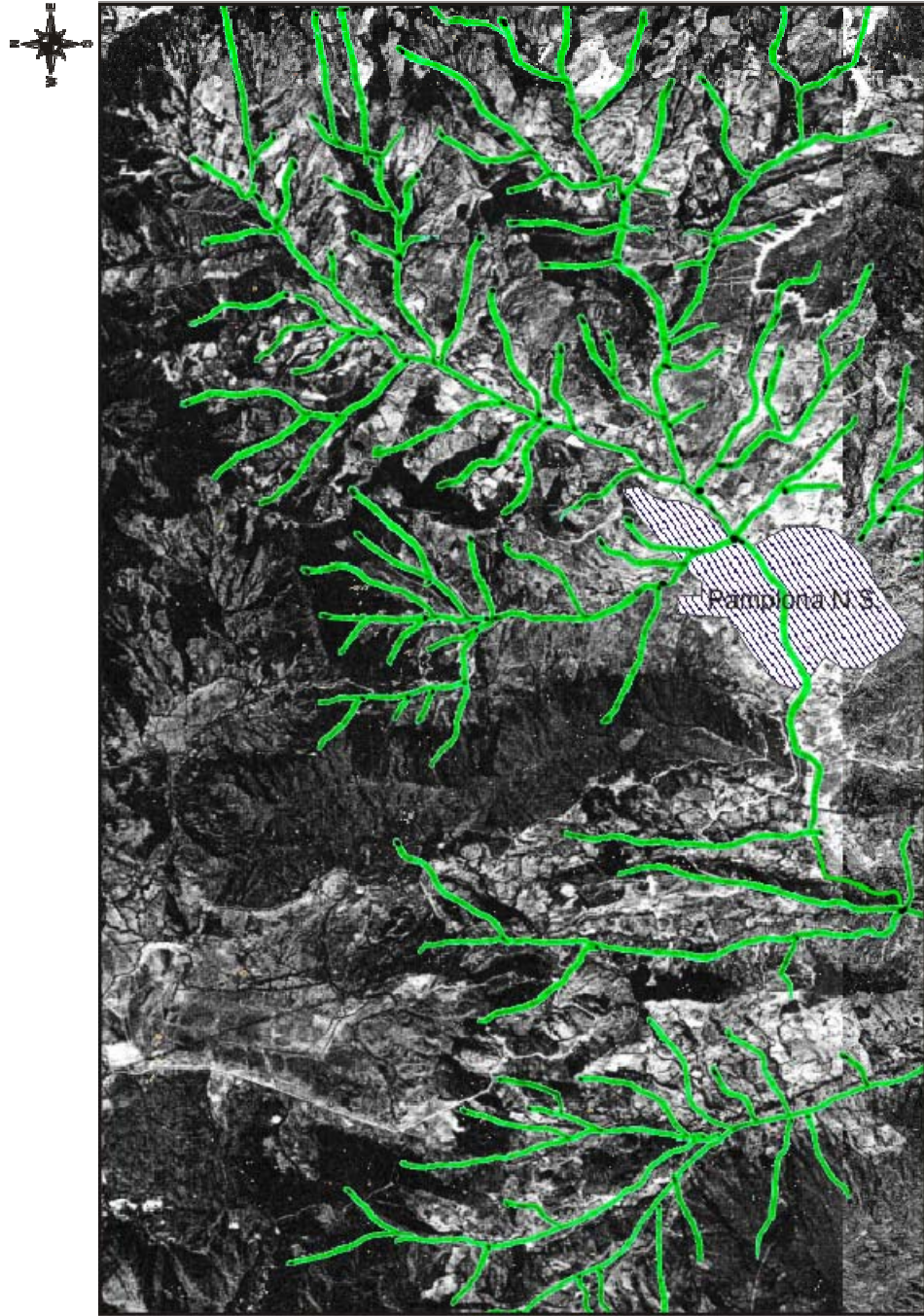


Figura 6, Fotografías aéreas y marcación de drenajes de la zona de estudio.

7.1.2. Fotointerpretación

Al oriente de la zona de estudio se aprecia una red drenaje de tipo dendrítico bien integrada, que se asocia a rocas sedimentarias que afloran en el área, los tributarios del río Pamplonita son del tipo 1 y 2 según la clasificación de Horton, las pendientes geomorfológicas en esta zona varían de moderadas a altas (ver Figura 7).



Figura 7, Zona oriental del área de estudio, Barrio El Progreso.

En la zona central de la fotografía se aprecia un depósito cuaternario tipo coluvión (ver Figura 8) sobre el cual se encuentra asentada la población de Pamplona, los aportes de aluviales en la zona son poco representativos y asociados directamente con el río Pamplonita.



Figura 8, Panorámica del coluvión sobre el cual está asentado Pamplona, fotografía tomada desde el E hacia el W.

Al occidente de la fotografía aérea tenemos una combinación de drenaje del tipo Trellis y Paralelo estos patrones son característicos de rocas cristalinas altamente diaclasadas y están sujetos al control estructural ejercidos por la falla de Pamplona, los drenajes están controlados por el patrón de diaclasas y en las rocas presentes en esta zona se generan escarpes asociados a la naturaleza frágil de las mismas.

7.1.3. Procesos geomorfológicos

Son los cambios físicos y químicos que determinan una modificación de la forma superficial de la tierra. En la zona se observan deslizamientos, estos fenómenos son desplazamientos de masa de tierra o rocas por una pendiente en forma súbita o lenta. Un ejemplo claro y localizado se observa en la Figura 9 en donde el cauce del río Pamplonita fue obstruido por este tipo de fenómeno al este de la ciudad de Pamplona en la vía que conduce a Cúcuta.



Figura 9, Represamiento por deslizamiento río Pamplonita, vía a Cúcuta.

En la Figura 10 se observa la zona de Loma Redonda entre los barrios de el Buque y Santa Marta, las pendientes son moderadas a altas, aquí se localiza un deslizamiento de tipo rotacional, además en la figura se resalta la corona del deslizamiento actual y una posible superficie de falla en la parte alta que representa un alto riesgo para las personas que habitan en la zona.



Figura 10, Deslizamiento Barrios EL Buque – Santa Marta, sector de Loma Redonda .

8. GEOTECNIA

8.1. Generalidades

La geotecnia es una disciplina de la Geología y la Ingeniería, que tiene por objeto el estudio de una serie de métodos que conducen, directa o indirectamente, al conocimiento del suelo en los diferentes terrenos sobre los cuales se van a erigir estructuras de índole variable.

La enorme importancia de su conocimiento ha sido y es demostrado a diario con hechos por todos conocidos, el tratar de iniciar cualquier construcción sin llevar a cabo, primero, un estudio del suelo, es quizá uno de los mayores riesgos que pueden correrse en el campo de la ingeniería.

Es imposible proyectar una cimentación adecuada para una estructura sin conocer el carácter del suelo que se encuentra bajo ella, ya que, en definitiva, es dicho suelo el que soportará la carga.

8.2. Toma de Muestras

Se hicieron trincheras con una profundidad promedio de 1.60 m (ver Figuras 11 y 12)



(a)



(b)



(c)

Figura 11, (a) Horizonte Barrio Juan XXIII, (b) Toma de probeta para corte directo Barrio Chíchira, (c) trinchera Barrio El Progreso.



(a)



(b)



(c)

Figura 12, (a) Horizonte Trinchera 1 UNIPAMPLONA, (b) Trinchera Barrio El Buque, (c) Trinchera Barrio Tinto Redondo.

La metodología que fue utilizada en la perforación y que puede ser sugerida es la siguiente:

Primero se demarcaron las áreas donde se iban a llevar a cabo las perforaciones, seguidamente se retiraron las coberturas vegetales de las zonas (después de tomar muestras estas coberturas se colocaron nuevamente), habiendo retirado las coberturas se comenzaron las perforaciones hasta de 20cm de la totalidad de las áreas demarcadas; a un costado de las trincheras se hicieron perforaciones de hasta 50cm haciendo seguimiento al perfil del suelo para determinar el final del orgánico y la toma de la muestra de suelo; a continuación se amplió el tamaño de la misma. A medida que estos cambios se iban presentando se dió inicio a la toma de muestras para humedad y granulometría cuidando de no contaminarlas con material ya extraído.

Cuando el nivel orgánico superó los 60cm se le tomó una muestra para análisis, debido a que este espesor es importante e interviene en el comportamiento mecánico del suelo en la zona.

Las muestras fueron tomadas a diferentes profundidades en cada barrio, empacadas y etiquetadas de la siguiente manera:

Primero con números romanos se identificaron los barrios (Juan XXIII como I, El Progreso como II, Chíchira como III, Tinto Redondo como IV, El Buque – Santa Marta como V, UNIPAMPLONA como IV), seguido del número de la trinchera en que se estuviera en el mismo y los suelos se identificaron en el orden en que se encontraban en cada trinchera (Ver Tabla 1).

Barrio	Número Romano	Trinchera	Identificador	Suelo	Identificador	Etiqueta Final
Juan XXIII	I	Primera	T1	Primero	S1	I-T1-S1

Tabla 1, Ejemplo etiquetas muestras de suelo.

Para las muestras de corte directo se utilizaron probetas de PVC de alto calibre y constatando el aumento en la cantidad de arcilla en el suelo se elaboraron pequeñas terrazas en el suelo que se quería muestrear introduciendo las probetas a presión, luego cuidadosamente con la espátula se tomaron las mismas y se etiquetaron de la misma forma que las muestra de suelo. (ver Figura 13).



Figura 13, Probeta para corte directo, al centro la probeta con la muestra empacada y etiquetada.

8.3. Ensayos de laboratorio

8.3.1. Humedad Natural

Determinación del Contenido de Humedad

Referencias: ASTM D2216-71 (Normas ASTM parte 19)

Equipo:

Recipientes para humedad (aluminio o latón)

Horno con control de temperatura adecuado

Descripción: La determinación de contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Como una definición.

Procedimiento

- ✓ Pesar una cápsula o recipiente de aluminio o latón, incluyendo su tapa. Identificar y revisar adecuadamente el recipiente. Las cápsulas de humedad normalmente pueden ser de diferentes tamaños.

- ✓ Colocar una muestra representativa de suelo húmedo en la cápsula y determinar el peso del recipiente más el del suelo húmedo. Si el peso se determina inmediatamente, no es necesario colocar la tapa. Si se presenta una demora de 3 a 5 minutos o más, coloque la tapa del recipiente para mantener la humedad y coloque la cápsula bajo una toalla de papel húmeda que le permita mantener la humedad en la vecindad del recipiente.

- ✓ Después de pesar la muestra húmeda más el recipiente, remueva la tapa es práctica común colocar la tapa debajo del recipiente y coloque la muestra en el horno.
- ✓ Cuando la muestra se haya secado hasta mostrar un peso constante, determine el peso de recipiente más el del suelo seco. Asegúrese de usar la misma balanza para todas las mediciones de peso.
- ✓ Calcule el contenido de humedad w . La diferencia entre el peso de suelo húmedo más el del recipiente y el peso de suelo seco más el del recipiente es el peso del agua W_w que estaba presente en la muestra. La diferencia entre el peso de suelo seco más el del recipiente y el peso del recipiente solo es el peso del suelo W .

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \text{por ciento}$$

El suelo debe secarse en el horno a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta obtener un peso constante.

Este ensayo se llevo a cabo en los laboratorios de suelos de la Universidad de Pamplona y se utilizaron los siguientes equipos:

- ✓ Balanza Kern 770 Max:120 gr d: 0.1 gr. (ver Figura 14b)
- ✓ Mufla vulcan 3-550 ND1 (ver Figura 14a)
- ✓ Desecador (ver Figura 14a)



(a)



(b)

Figura 14, (a) Mufia y Horno, (b) Pesado de muestras para humedades naturales, balanza Kern.

Los resultados obtenidos en este ensayo fueron:

Muestra	Profundidad (m)	Barrio	% Humedad
I - T1 - S1	0,800	Juan XXIII	24,50198255
II - T1 - S1	1,000	El Progreso	18,04792262
II - T1 - S2	1,350	El Progreso	15,38537389
III - T1 - S1	1,000	Chichira	8,45553228
III - T1 - S2	1,500	Chichira	13,57600112
IV - T1 - S1	0,850	Tinto Redondo	5,431668709
IV - T1 - S2	1,400	Tinto Redondo	5,450904776
V - T1 - S1	0,700	El Buque - Santa Marta	27,07877007
V - T1 - S2	1,400	El Buque - Santa Marta	27,92501152
VI - T1 - S1	1,200	Universidad de Pamplona	21,54600114
VI - T2 - S1	1,400	Universidad de Pamplona	11,56828059
VI - T2 - S2	1,800	Universidad de Pamplona	20,89546276
VI - T3 - S1	0,800	Universidad de Pamplona	31,13985743

Tabla 2, Resultados correspondientes al ensayo de humedad natural.

8.3.2. Granulometría

El análisis granulométrico es un intento de determinar las propiedades relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelos dada.

8.3.2.1. Análisis Granulométrico Método Mecánico

Determinar en forma cuantitativa la distribución de tamaños de partículas de suelo.

NORMA TÉCNICA UTILIZADA: INVIAS 123

EQUIPO

- ✓ Balanza con sensibilidad de 0.01 gr. (ver Figura 15)
- ✓ Juego de tamices de malla cuadrada: Los tamices son hechos de malla de alambre forjado con aberturas rectangulares que varían en tamaño

desde 101.6 mm (4") en la serie más gruesa hasta el número 400 (0.038 mm) en la serie correspondiente a suelo más fino.

- ✓ Horno con temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- ✓ Pulverizador mecánico del suelo.
- ✓ Recipientes adecuados para el manejo y secado de la muestra.
- ✓ Agitador Mecánico de Tamices.
- ✓ Cepillo y brocha para la limpieza de tamices.



Figura 15, Balanza OKAUS de 0,01 gr.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- ✓ La cantidad de muestra para el ensayo utilizada fue de 600 g. por muestra.
- ✓ Se secó al horno durante un período de 12 horas hasta lograr un peso constante (ver Figura 16). Se sacó del horno y se dejó enfriar la muestra y luego se pesó la cantidad exacta de muestra seca (P1), luego se humedece la muestra por varias horas para facilitar el lavado de la misma (ver Figura 17).



Figura 16, Horno con temperatura regulada de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$

PROCEDIMIENTO DE LAVADO



(a)



(b)

Figura 17, (a) Lavado sobre tamiz 200, (b) Preparación de muestras para el lavado en tamiz 200.

Si la muestra no presenta grumos ni partículas pequeñas pegadas a las grandes se puede omitir este procedimiento.

Se toma la muestra y se le hace un lavado sobre el tamiz N° 200 (Ver Figura 17a), este lavado se hace hasta que el agua que pase por el tamiz sea transparente, se debe tener cuidado con el lavado para que el material no salpique fuera del tamiz y evitar frotar la muestra contra éste para prevenir daños en la malla.

Luego de realizar el lavado de toda la muestra se vierte el material que queda sobre el tamiz en un recipiente con ayuda de agua y se deja sedimentar hasta lograr que el agua en la parte superior de la suspensión esté transparente.

Con ayuda de un recipiente pequeño se extrae la mayor cantidad posible del agua que quedó encima de la muestra.

Tomar el recipiente con muestra y agua y colocarlo a secar en el horno a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ y volver al día siguiente a retirar la muestra.

Después de sacar la muestra del horno se halla el peso de la muestra seca (P2) anotando el valor en la hoja de reporte, se organiza una serie de tamices (Ver Figura 18) que varíen desde diámetros mayores arriba hasta diámetros inferiores abajo por donde se hará pasar la muestra.

La serie de tamices utilizada fue:

Tapa		N°10	2.00mm
3"	75.0mm	N°20	850mm
2"	50.0mm	N° 40	425mm
1 "A"	37.5mm	N° 60	250mm
1"	25.0mm	N° 80	180mm
3/4"	19.0mm	N° 100	150mm
1/2"	12.5mm	N° 200	75mm
3/8"	9.50mm	Fondo	
N°4	4.75mm		

Tabla 3, Serie de tamices.



Figura 18, Serie de tamices.

Si la serie de tamices es grande y no caben todos dentro del agitador (que tiene capacidad para 7 tamices) es posible realizar el tamizado manual a través de los tamices superiores de diámetro más gruesos y removerlos de la

serie; luego se colocan los tamices restantes en el agitador de tamices y tamizar durante un tiempo aproximado de 5 a 10 minutos.

Si no se dispone de un agitador mecánico, el tamizado puede hacerse en forma manual por un tiempo aproximado de 10 minutos, alternando movimientos del tamiz o los tamices de un lado a otro recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. No se recomienda mantener un ritmo fijo durante la agitación.

Quitar la serie de tamices del agitador mecánico, separar cada tamiz y obtener el peso del material que queda retenido en cada tamiz y anotarlos en la hoja de reporte. La suma de estos pesos no debe diferir del 1 % del peso de la muestra secada en el horno, de lo contrario el ensayo no tiene validez y se debe repetir todo el procedimiento.

CÁLCULOS

- ✓ Calcular el porcentaje de peso retenido en cada tamiz de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Retenido} = (\text{Peso Retenido en cada Tamiz} / \text{Peso Total de la Muestra}) \times 100\%$$

- ✓ Calcular el porcentaje que pasa por cada tamiz empezando por el 100% de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Que Pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

- ✓ Realizar la gráfica de porcentaje que pasa (abscisa) contra diámetro mm (ordenada) en papel semilogarítmico.

- ✓ Calcular los coeficientes de Uniformidad C_u y de Curvatura C_c de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

- ✓ Clasificar el suelo como Arena Grava o Fino.

Estas pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

8.3.2.2. Análisis Granulométrico Método del Hidrómetro

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelos dada. No posee información sobre la forma de los granos del suelo.

OBJETIVO

Determinar la distribución granulométrica para suelos finos que pasan el tamiz N°200. NORMA TÉCNICA UTILIZADA: INVIAS124

EQUIPO

- ✓ Balanzas, de sensibilidades 0.01 g, 0.1 g y 1 g.
- ✓ Tamiz de 75 μm (No.200)
- ✓ Hidrómetro graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión ó los gramos por litro de suspensión. Se identifica como 152H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1.00 a 20 °C

(68 °F) y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2.65 (ver Figura 19).



Figura 19, Probetas e Hidrómetro, en análisis fino granular (Hidrometrías).

- ✓ Cilindro de vidrio para sedimentación, de unos 457 mm (18") de alto, y 63.5 mm (2.5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 ml a 20 °C (68 °F).
- 3.5 Termómetro de inmersión, con apreciación de 0.5 °C (0.9 °F).
- ✓ Cronómetro o reloj.
- ✓ Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) (ver foto 11).
- ✓ Utensilios de uso general: Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras y un par de guantes de asbesto o caucho.
- ✓ Agente Dispersante: Una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución (ver Figura 20).



Figura 20, Agente Dispersante.

- ✓ Las soluciones de esta sal deberán ser preparadas frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su Ph de 8 a 9 por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener la fecha de preparación marcada.

CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO

Determinación de la distancia de caída

- ✓ Se determina el volumen del bulbo del hidrómetro V_H , para esto se debe llenar la probeta hasta una marca cualquiera, luego se sumerge el hidrómetro y se observa el nuevo nivel del agua, el volumen desalojado es el volumen del bulbo.
- ✓ En la probeta de 500 ml se coloca una cantidad cualquiera de agua y se sumerge lentamente el hidrómetro hasta desalojar un volumen igual a la mitad del volumen del bulbo del hidrómetro, de esta forma la superficie

del agua señala la altura del centro del bulbo, se hace la lectura (R_{H0}) que, en la escala del hidrómetro coincide con el borde superior de la probeta y finalmente se mide la distancia h_0 desde el borde superior de la probeta hasta la superficie del agua.

- ✓ Para obtener la distancia entre el centro del bulbo del hidrómetro y $R_{H1} = 1000$ se mide la distancia entre R_{H0} y el valor de R_{H1} .
- ✓ Sumando las distancias obtenidas en los dos numerales anteriores obtenemos la distancia h_1 entre el centro volumétrico del hidrómetro) ía distancia máxima $R_{Hi} = 1000$
- ✓ Para referir las distancias h_2 de cada lectura R_{H2} del vástago al centro de volumen del hidrómetro, se mide en el vástago la distancia entre $R_{H1} = 1000$ y se obtiene h_3 .
- ✓ Se determina el área A , del cilindro de sedimentación de 1000 ml, midiendo la distancia entre dos graduaciones. El área A , es el cociente que resulta de dividir el volumen entre graduaciones por la distancia entre las graduaciones.
- ✓ Se corrige la distancia efectiva de caída por inmersión, a los valores h_2 se les hace corrección por el desalojo del agua, producida por la inmersión del hidrómetro.

La distancia correcta H para la lectura h_2 es: $H = h_2 - (V_h/2A)$

- ✓ Con los valores de R_H y H se construye una gráfica.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- ✓ El tamaño aproximado de la muestra de suelo fino que se debe usar para el análisis por hidrómetro debe variar en un rango de 50 a 60gr para limos y arcillas y de 75 a 100gr para arenas (peso seco).

El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo; sin embargo el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.



Figura 21, Preparación de muestra para Granulometría de finos.

- ✓ El peso seco se determina mediante la siguiente fórmula:
$$W_s = \text{Peso Suelo Húmedo} / (1 + (\text{Humedad} / 100))$$
- ✓ Donde la humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada.
- ✓ Tomar la cantidad adecuada de suelo secado al horno (60 a 70 gr dependiendo del tipo de suelo) y pulverizado que pase por el Tamiz N°200.
- ✓ Mezclar en un recipiente de vidrio el suelo con 125 ml de solución al 4% de NaPO₃ dejar asentar la mezcla por cerca de 16 horas (ver Figura 20).

PROCEDIMIENTO

- ✓ Agitar a mano o en una licuadora la mezcla.
- ✓ Transferir la mezcla al cilindro de sedimentación y llenarlo hasta los 1000 ml con agua.
- ✓ Tapar el cilindro de sedimentación con un tapón de caucho (Usar la palma de la mano si no hay tapón disponible) y agitarlo rápidamente volteándolo de un lado para el otro por espacio de 2 minutos teniendo cuidado de no derramar la mezcla.
- ✓ Poner sobre la mesa el cilindro, remover el tapón e inmediatamente insertar el hidrómetro y tomar lecturas en él para el siguiente intervalo de tiempo: 1, 2, 3, 4 y 5 minutos y realizar igualmente lecturas de temperatura (ver Figura 22).



Figura 22, Toma de lecturas hidrómetro.

- ✓ Realizar nuevas mediciones a los 10, 15, 30, 60 minutos, al igual que a las 2, 4, 6, 8, 16 y 24 horas. Los intervalos sugeridos para tomar mediciones después de las 2 horas de comenzado el ensayo son aproximados, ya que cualquier tiempo es adecuado siempre y cuando haya suficiente espaciamiento para permitir una dispersión satisfactoria de los puntos de la gráfica.

- ✓ Pesar un platón, agregarle la solución suelo-agua, llevar el platón al horno, al cabo de 18 horas sacar el platón y pesarlo para determinar el peso seco del suelo.

CORRECCIONES

- ✓ *Corrección por Menisco:* agua el hidrómetro para correspondiente corrección. Introducir en una probeta de 1000ml llena de leer el efecto del menisco y efectuar su correspondiente corrección.

- ✓ *Corrección por Dispersante:* Mezclar en un recipiente de 1000 ml, 125 ml de la solución dispersante, agregar agua suficiente hasta alcanzar un volumen de 1000 ml, introducir el hidrómetro dentro de la solución y tomar la lectura del menisco para efectuar la corrección.

- ✓ *Corrección por Temperatura:* La temperatura de calibración del hidrómetro es generalmente de 20°C, a cualquier temperatura mayor que la de calibración, la lectura del hidrómetro será diferente, debido a que la densidad de la suspensión disminuye y a que el vidrio se expande. La corrección por temperatura se realiza mediante la Tabla 4 donde se busca la corrección para cada temperatura diferente a la de calibración.

T(°C)	CT	T(°C)	CT
15	-1.10	23	+0.70
16	-0.90	24	+1.00
17	-0.70	25	+1.30
18	-0.50	26	+1.65
19	-0.30	27	+2.00
20	0.00	28	+2.50
21	+0.20	29	+3.05
22	+0.40	30	+3.80

Tabla 4, Corrección por temperatura.

CÁLCULOS

- ✓ Corregir la lectura del hidrómetro de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_c = R \text{ leído} - \text{Corrección de Ceros} \pm \text{Corrección por Temperatura}$$

- ✓ Calcular el factor de ajuste para un G_s diferente a 2.65 con la siguiente ecuación:

$$a = \frac{G_s \times 1.65}{(G_s - 1) \times 2.65}$$

- ✓ Calculo de porcentaje más fino de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{R_s \times a \times 100}{W_s}$$

- ✓ Corrección por menisco.

$$R = R \text{ leído} + \text{Corrección por menisco}$$

- ✓ Con la corrección por menisco y con las tablas se obtiene la profundidad efectiva.
- ✓ Calcular la velocidad de caída de las partículas de acuerdo a: $V = (L / t)$
- ✓ Obtener le valor de K interpolando para la G_s dada y la temperatura correspondiente. Tabla 5.

PESO UNITARIO DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO(gr/cm^3)								
T($^{\circ}\text{C}$)	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

Tabla 5, Valores de K.

✓ Calcular el diámetro de la partícula de acuerdo a: $D = K \times \sqrt{V}$

Estas pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

8.3.3. Límites de Atterberg

Se llama consistencia a la cualidad de un suelo relativa, a la mayor o menor facilidad con que puede fluir, deformarse o romperse. Para un suelo determinado, ella es variable de acuerdo con los cambios que se presenten en su contenido de agua, su densidad y las condiciones de su estructura.

Se llama plasticidad a la propiedad de un suelo que le permite ser deformado hasta más allá del límite de recuperación de las dimensiones y la forma, sin agrietamiento ni cambio apreciable de volumen.

El sueco Atterberg, en 1911, desarrolló un método para determinar cuantitativamente el efecto de la variación del contenido de humedad en la consistencia de los suelos; para ello estableció cuatro estados y definió límites arbitrarios entre ellos, que actualmente son llamados límites de Atterberg,

Se da el nombre de límites de Atterberg al conjunto de los llamados Límite líquido y límite plástico que sirven para definir arbitrariamente las fronteras entre los cuatro estados de consistencia de un suelo, definidos por Atterberg.

6.3.3.1 Límite Líquido

Definición de límite líquido.

a) Es el contenido de humedad correspondiente al límite arbitrario entre los estados líquido y plástico de un suelo. Se designa con el símbolo: LL.

b) Es el contenido de humedad al cual una pasta del suelo, separada en dos mitades por la muesca hecha con una herramienta de dimensiones específicas, fluye para que las dos partes separadas por el corte se unan en una longitud de 1/2", bajo la acción del impacto de 25 golpes en un aparato diseñado especialmente (por Arturo Casagrande) para la determinación de dicha magnitud.

Determinación del Límite Líquido

Para la determinación del límite líquido se utiliza un sencillo aparato diseñado para tal efecto por Arturo Casagrande cuya parte más importante es una especie de copa de bronce a la cual se pasa pasta húmeda del suelo para llenarla en menos de la mitad de la capacidad total. Usando una herramienta especial se separa la pasta en dos mitades al hacerle una muesca (ver Figura 23).

Con un dispositivo mecánico se hace dar golpes a la copa que contiene la muestra de suelo contra una base horizontal y se cuenta el número de golpes necesario para que las dos partes de la pasta separadas por la muesca se junten en una longitud aproximada de 1/2" (ver Figura 22). El experimento se repite para diferentes humedades del suelo.

El contenido de agua w para el cual se juntan las dos mitades por flujo del suelo después de dar 25 golpes es tomado como el límite líquido; con una humedad mayor que ésta la pasta fluye en forma más fácil, o sea con menor número de golpes.

La curva que da el número de golpes correspondiente a cada contenido de agua se llama curva de flujo; de ésta se obtiene el límite líquido, LL.

El ensayo se hace sobre la fracción de partículas que pasan la malla 40 U.S. Standard (tamaño: 0,420mm).



(a)



(b)

Figura 23, (a) Cuchara Casa Grande, ranurador y calibrador, (b) Ranurador de Casa Grande.

8.3.3.2. Límite Plástico

Definición de límite plástico

- a) Es el contenido de humedad correspondiente al límite arbitrario entre los estados plástico y semisólido de un suelo. Se designa con el símbolo LP.

- b) Es el contenido de humedad al cual un suelo empieza a desmigajarse, cuando se modela por rodamiento entre la palma de la mano y una superficie lisa y plana un pequeño cilindro del suelo de 3mm (1/8") de diámetro aproximado.

Determinación del límite plástico.

El Límite plástico es determinado por un método algo rudimentario en comparación con el límite líquido, ya que la operación es completamente manual.

Esto hace que juegue papel más importante la apreciación subjetiva del operador, lo que puede llevar a mayor discrepancia sobre los resultados obtenidos para un mismo suelo, cuando los ensayos han sido realizados por distintos operadores.

Para llevar a cabo el ensayo se toma una pequeña muestra con una consistencia tal que no se adhiera a las manos, pero que pueda ser manipulada para formar pequeños bastoncitos o cilindros (ver Figura 24), sin que se desmoronen o desmenucen, haciendo rodar la pasta con la palma de la mano sobre una superficie plana y lisa.



Figura 24, Muestra para límite Plástico.

Hecho lo anterior se pliega el bastoncito y se aprieta para formar una bola y luego recomenzar con la acción de rodamiento para formar nuevos cilindritos.

Con esto el suelo va perdiendo humedad gradualmente.

Cuando el bastoncito se agrieta para comenzar a deshacerse en el momento en que alcanza un diámetro de 3mm, el contenido de humedad correspondiente es definido como el límite plástico.

El ensayo se hace sobre la fracción de partículas que pasan la malla 40 U.S. Standard. Estas pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial.

8.3.3.3. Cálculo de la Actividad

Determinación de la actividad de los suelos.

La actividad del material es una propiedad relacionada con propiedades como la plasticidad, la cohesión y la expansibilidad y es una magnitud definida por Skempton así:

Actividad de una arcilla = $IP / (\% \text{ de partículas } < 0.002 \text{ ó } 2 \text{ micras})$

Actividad (a)	calificativo
< 0.75	Inactivas
0.75-1.25	Normales
>1.25	Activas

Cálculos

Juan XXIII, I-T1-S1 $a = 5,871516134 / 4 = 1.468$

Chíchira, III-T1-S2. $a = 5,333540824 / 4 = 1.33$

UNIPAMPLONA, VI-T1-S1. $a = 2,182362923 / 2 = 1.091$

UNIPAMPLONA, VI-T2-S2. $a = 2,082344341 / 1.85 = 1.125$

UNIPAMPLONA, VI-T3-S1. $a = 7,650390042 / 1.3 = 5.885$

8.3.4. Corte Directo

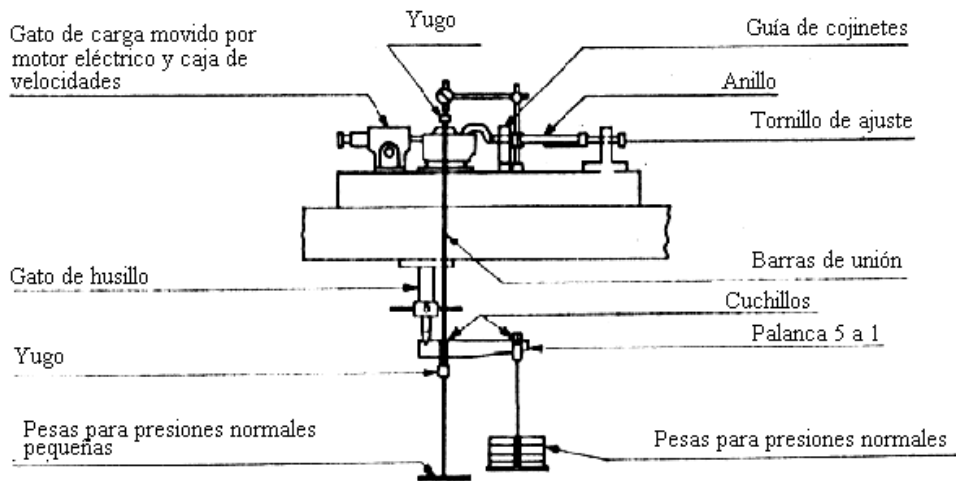
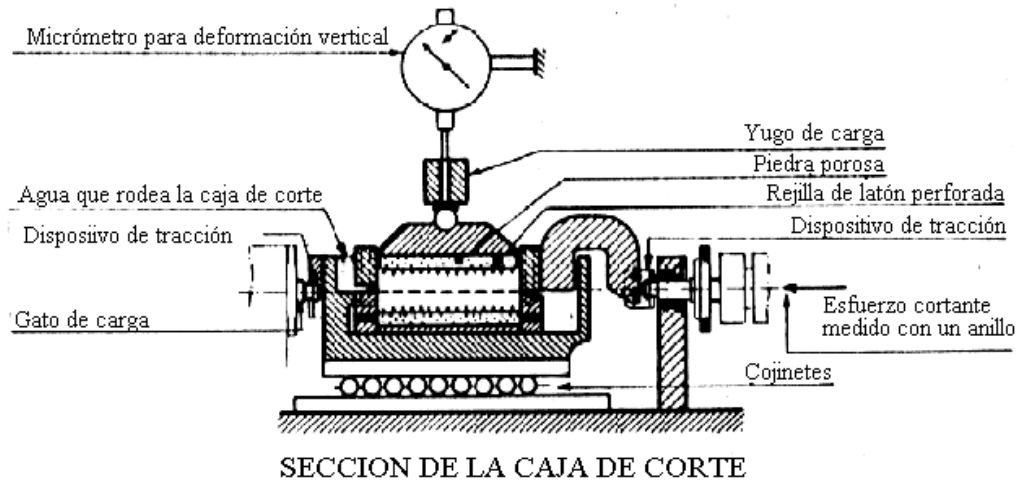


Figura 25, Esquema maquina corte directo, tomado de la página Web de la Universidad Católica de Valparaíso.

El plano de falla se conoce de antemano. No se pueden conocer los esfuerzos normales en un plano diferente al de falla, se pueden hallar los esfuerzos normales en el momento de la falla usado en el círculo de Mohr.

$$P \rightarrow \sigma = \frac{P}{A} \quad \sigma = \text{constante}$$
$$F \rightarrow \tau = \frac{F}{A} \quad \tau = \text{variable}$$

El ensayo se puede realizar de dos formas: Esfuerzo controlado y Deformación controlada.

- ✓ Esfuerzo controlado: Se manejan valores fijos de fuerza tangencial, de modo que el esfuerzo aplicado tiene en cada momento un valor prefijado, variando P/A.
- ✓ Deformación Controlada: La máquina actúa con velocidad de deformación constante y la fuerza aplicada se lee en el equipo. Ésta es la forma más usada (ver Figura 26).



Figura 26, Equipo para ensayo de corte directo POE-04.

Aunque la prueba sólo permite conocer los esfuerzos en el plano de falla durante su realización, se pueden conocer los esfuerzos actuantes en otra dirección teniendo en cuenta que en ese instante el círculo de falla es tangente a la línea de falla.

El uso de esta prueba debe restringirse a suelos de falla plástica y no debe hacerse en aquellos de falla frágil. El motivo es que la curva de esfuerzo-deformación queda desplazada hacia valores menores.

En los suelos de falla plástica, una vez alcanzada la falla, en todos los puntos de la sección crítica los esfuerzos son iguales, independientemente de cualquier concentración de la deformación tangencial, en este caso el esfuerzo promedio representa el máximo de falla.

Suelos de falla plástica: Arcillas blandas y arenas sueltas.

Suelos de falla frágil: Arenas densas o cementadas y arcillas duras.

Otro inconveniente de la prueba es que el área de la sección crítica está variando durante toda la prueba.

Tipos de Pruebas:

No Consolidado, No Drenado:

Aplicable a arcillas (Suelos finos de baja permeabilidad). Se impide la consolidación mediante la rápida aplicación de la carga normal P, buscando que quede completamente saturado y no permitir la salida del agua. La fuerza tangencial T, también se aplica rápidamente para evitar la migración del agua fuera de la muestra.

Arenas: $\mu = 0 \rightarrow \sigma' = \sigma - \mu \rightarrow \sigma' = \sigma$

Obtención esfuerzos efectivos.

Arcilla: $\mu \neq 0 \rightarrow$ Obtención de esfuerzos totales

Consolidado No Drenado:

En este ensayo se aplica una carga P (normal al plano de falla) que consolida la muestra, cuando se ha consolidado se aplica rápidamente la fuerza tangencial T (Fuerza horizontal).

CD: Consolidado Drenado:

Se consolida la muestra y luego se drena la muestra:

Arenas: CU = UU , $\mu = 0$

Arcillas: $\mu = 0$ σ', ϕ'

En conclusión el ensayo de corte directo es más apropiado para suelos de falla plástica como arenas sueltas y arcillas blandas; en arcillas (a excepción que sea un CD) no es posible determinar parámetros efectivos si no totales.

Equipo Utilizado

Dispositivo de carga: Un dispositivo capaz de sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella (ver Figura 27).



Figura 27, Dispositivo de Carga.

Debe estar provisto de los dispositivos necesarios para:

- ✓ Aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra.
- ✓ Determinar los cambios en el espesor de la muestra.
- ✓ Drenar el agua a través de las piedras porosas.
- ✓ Sumergir la muestra en agua.
- ✓ Ser capaz de aplicar una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano (corte único) o de planos (corte doble) paralelos a las caras de la muestra.
- ✓ Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.
- ✓ Las diferentes partes del dispositivo deben ser de un material resistente a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o por la humedad del mismo (ver Figura 28).



Figura 28, Equipo resistente a la corrosión.

Piedras porosas: Las cuales deben ceñirse a lo siguiente:

- ✓ Ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o de un metal que no sea susceptible a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o la humedad del mismo.
- ✓ Dependiendo del tipo de suelo que se va a ensayar, las piedras porosas deben tener la calidad adecuada para desarrollar el contacto necesario con la muestra y además, deben evitar la intrusión excesiva de partículas de suelo dentro de sus poros.
- ✓ Para ensayos con suelos normales, la calidad de las piedras debe permitir una permeabilidad de 0.5 mm/s a 1 mm/s.

Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal: Debe estar en capacidad de aplicar rápidamente la fuerza especificada sin excederla y para mantenerla con una variación máxima de $\pm 1\%$ durante el proceso de ensayo.

Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte: La capacidad depende más que todo del tipo de control: Se puede realizar control de deformaciones o control de esfuerzos. Se recomienda generalmente controlar las deformaciones por la facilidad para determinar tanto el esfuerzo último como la carga máxima. El equipo con control de deformaciones debe tener la capacidad para cortar la muestra a una velocidad de desplazamiento uniforme, con una desviación de $\pm 10\%$ y debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento dentro de un rango más o menos amplio. La velocidad de aplicación de la carga depende de las características de consolidación del suelo. Esta velocidad se produce generalmente a través un motor con caja de transmisión y la fuerza de corte se determina por medio de un indicador de carga (ver Figura 29).



Figura 29, Tablero de control.

Estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

8.3.5. Difracción de rayos X

Los rayos x se difractan al pasar a través de una muestra de arcilla; las diferentes trayectorias de difracción vienen a ser imágenes de los distintos planos atómicos que existen en el mineral.

El análisis permite determinar los espaciamientos entre los planos atómicos de los cristales y las intensidades de las reflexiones de los rayos X; estos parámetros son conocidos para muchos materiales cristalinos, lo que permite la identificación de los minerales por comparación.

Mas de un componente cristalino está generalmente presente en la muestra, lo que da origen a dificultades, no obstante es el método más utilizado para tal efecto (ver Figura 30).



Figura 30, Difractómetro de polvo marca RIGAKU.

Estos ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Rayos X de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Barrio	Muestra	Clasificación
Juan XXIII	I - T1 - S1	OL
El Progreso	II -T1 - S1	SM
El Progreso	II -T1- S2	SM
Chíchira	III - T1 S1	SP - SM
Chíchira	III - T1-S2	ML
Tinto Redondo	IV- T1 -S1	GP - GM
Tinto Redondo	IV -T1 -S2	GP - GM
Buque - Santamarta	V - T1 -S1	ML
Buque - Santamarta	V - T1 -S2	ML
Unipamplona	VI -T1 -S1	CL
Unipamplona	VI -T2 -S1	SM
Unipamplona	VI -T2 -S2	CL
Unipamplona	VI -T3 -S1	CL

Tabla 6, Clasificación de suelos, según el SUCS (ver Anexo 8).

La muestra I-T1-S1 es un limo orgánico (OL), calificada como activa, con un IP que pertenece al rango de poco plástico y parcialmente cohesivo, tiene un LL mayor a 25 lo cual sugiere que son pobres para fines ingenieriles además posee una humedad natural mayor que el LP, esto significa que para hacer algún tipo de obra primero debe ser puesta a punto. De otra parte en uso como terraplenes es deficiente e incluso no recomendado, su capacidad de soporte es muy deficiente, susceptible a la licuefacción (estado saturado) y como fundación es de regular a malo. Todas las anteriores anotaciones se hacen teniendo en cuenta las propiedades del suelo orgánico que allí se encontró. (ver Anexo 1)

En cuanto a su topografía podemos decir que toda el área se encuentra en un rango de 16.7 a 45 grados de pendiente (ver Figura 31).

Mapa de Pendientes Barrio Juan XXIII

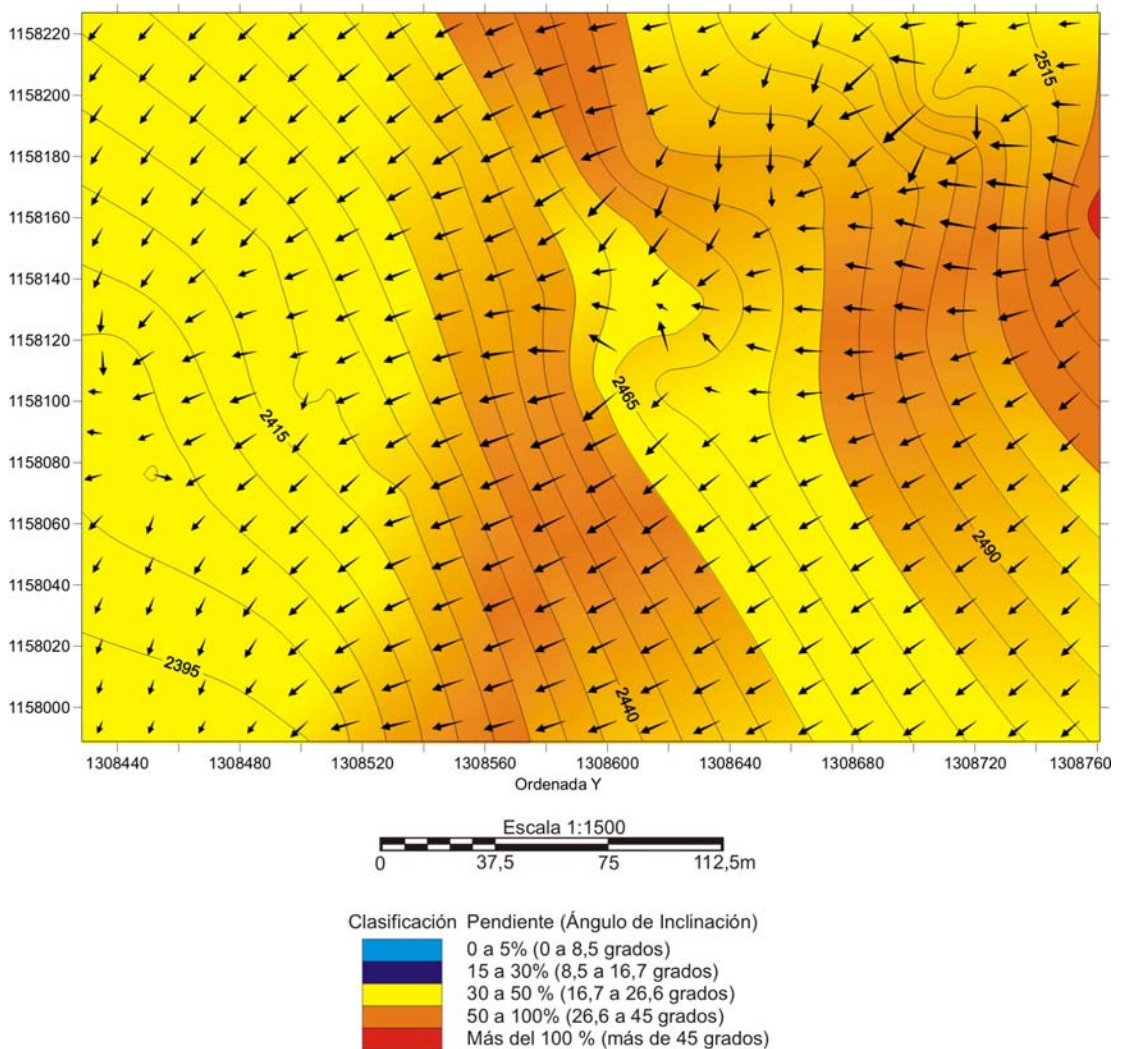


Figura 31, Mapa de pendientes Barrio Juan XXIII.

Por último es indispensable aclarar que la prueba de corte directo puede presentar anomalías debido a que la muestra contenía gravas, esta situación redonda en la veracidad de los resultados y las anomalías fueron verificadas,

tomándose la decisión de no tomarlas en cuenta en el análisis de resultados (Ver Anexo 1).

Las muestras II-T1-S1 y II-T1-S2 son unas arenas limosas mal gradadas, con cascajo y poco o nada de finos. Estas muestras para ser utilizadas con fines ingenieriles primero deben ser tratadas con el objetivo de darles las características propias para determinado propósito. Son razonables a regularmente estables para uso en terraplenes, gracias al porcentaje de finos que contienen (21% muestra 2 y 14% muestra 3) su capacidad de soporte es buena a deficiente dependiendo de la densidad y como fundación es aceptable a bueno. En cuanto a las pendientes podemos resaltar que estas oscilan entre 16 a más de 45 grados en toda el área que se hizo topografía (Ver Figura 32 y Anexo 2).

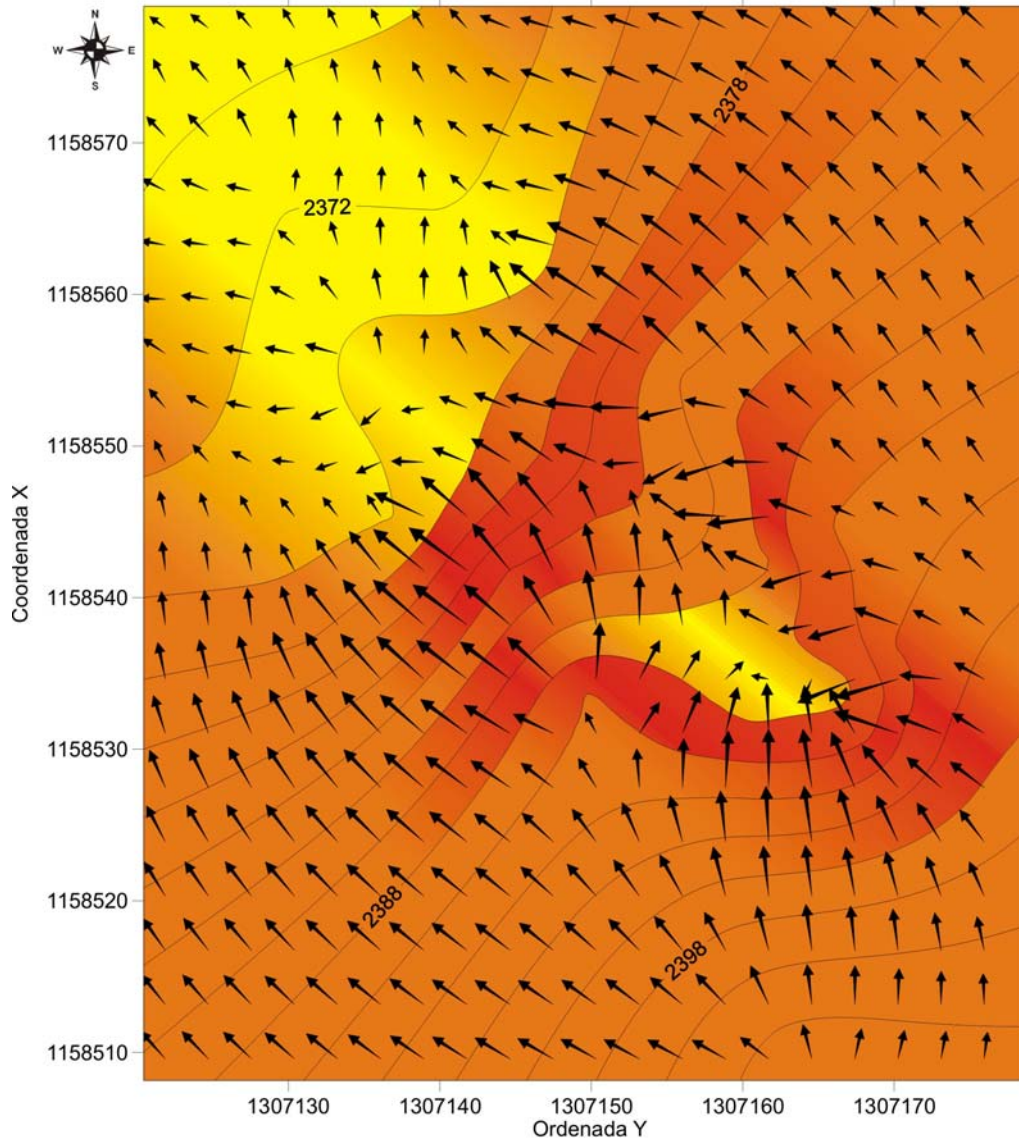
La muestra III-T1-S1 es una arena limosa mal gradada, con cascajo y poco o nada de finos.

Estas muestras para ser utilizadas con fines ingenieriles primero deben ser tratadas con el objetivo de darles las características propias para determinado propósito.

Es razonable a regularmente estable para uso en terraplenes, gracias al porcentaje relativamente bajo de finos que contiene (11%) su capacidad de soporte es bueno a deficiente dependiendo de la densidad y como fundación es aceptable a bueno (ver Anexo 3).

Presentan pendientes que están en un rango de 26 a más de 45 grados (ver Figura 33).

Mapa de Pendientes Barrio El Progreso



Clasificación Pendiente (Ángulo de Inclinación)	
	0 a 5% (0 a 8,5 grados)
	15 a 30% (8,5 a 16,7 grados)
	30 a 50 % (16,7 a 26,6 grados)
	50 a 100% (26,6 a 45 grados)
	Más del 100 % (más de 45 grados)

Figura 32, Mapa de pendientes Barrio El Progreso.

Mapa de Pendientes Barrio Chíchira

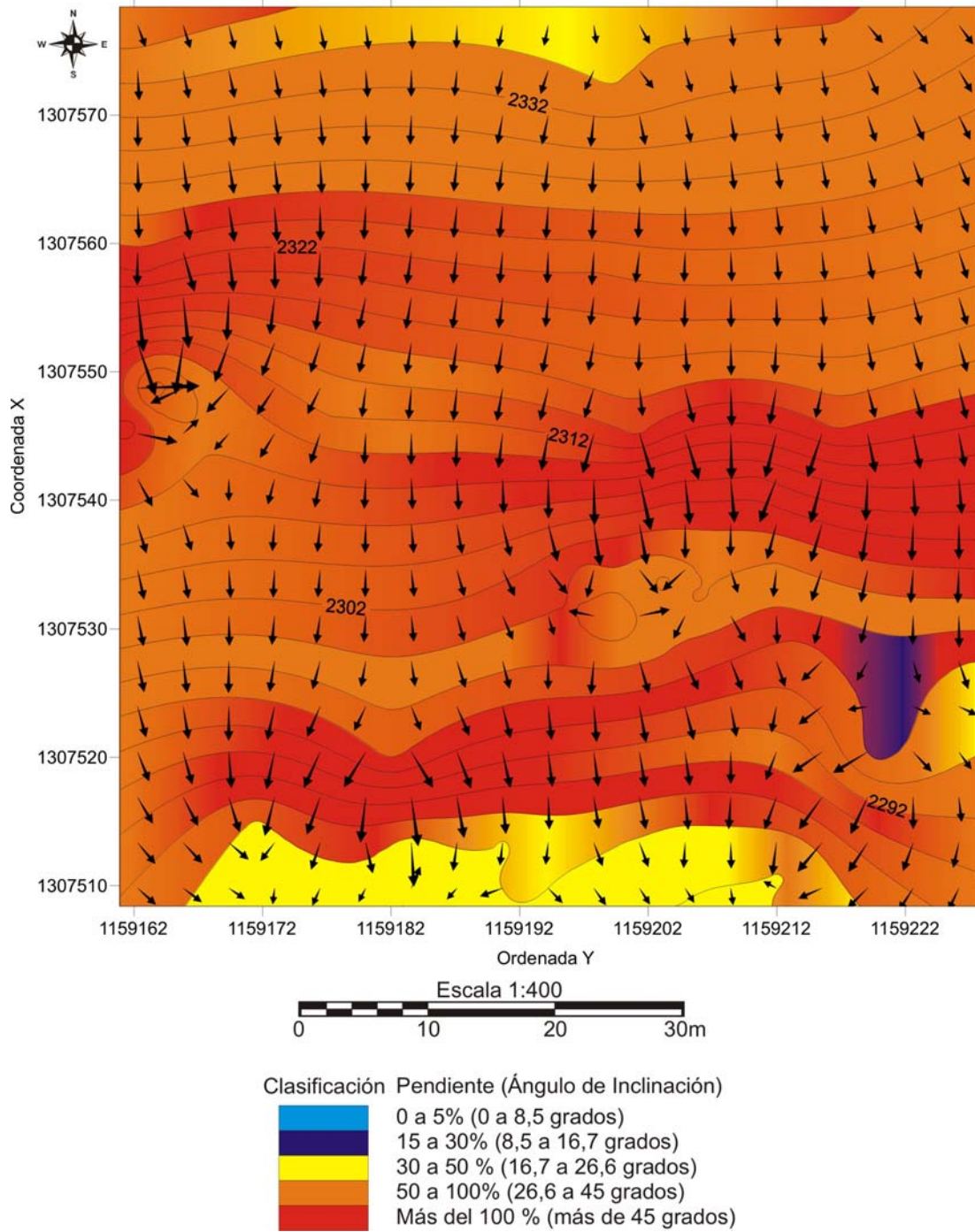


Figura 33, Mapa de pendientes Barrio Chíchira.

La muestra III-T1-S2 es una arcilla limosa inorgánica, al igual que la primera está calificada como activa y con un IP que pertenece al rango de poco plástico y parcialmente cohesivo, tiene un LL menor a 25 e IP menor a 6 lo cual es un indicativo de un suelo apto para ser utilizado con fines ingenieriles, además tiene una historia geológica de pre-consolidación, esto quiere decir que en el pasado geológico pudo haber sufrido compactación por esfuerzos directamente sobre ella (ver Anexo 3).

En uso para terraplenes es estable, su capacidad de soporte es buena a deficiente y como fundación es mala. Las pruebas de corte directo arrojaron resultados de alta cohesión ($9245,50 \text{ kg/m}^2$) y ángulo de fricción (29) no tan bajo para ser una arcilla.

En el área encontramos pendientes que se encuentran en un rango de 26 a más de 45 grados (Ver Figura 33).

Las muestras IV-T1-S1 y IV-T1-S2 son gravas mal gradadas, mezcladas con arena y con pocos finos (ambas muestras con un 9%). De todas las muestras, ellas son las que presentan las humedades naturales mas bajas, teniendo en cuenta que todas fueron tomadas para una misma época.

Estos son los suelos que mejor perspectiva tienen en Pamplona en cuanto a su uso en terraplenes ya que son estables y como soporte y fundación son excelentes (ver Anexo 4), las pendientes en toda el área no sobrepasan los 45 grados (ver Figura 34).

Las muestras V-T1-S1 y V-T1-S2 son las únicas muestras que no pudieron clasificarse en el SUCS por dos razones: primero, el material tiene un porcentaje mayor a 50% en finos y segundo, ese material no dejó realizar los

ensayos de Atterberg ya que su fracción fina no permitió moldear las muestras para tal efecto y en consecuencia, la clasificación no fue posible realizarla, a estas muestras por lo tanto se les dará el nombre de limos arenosos ya que su fracción de finos se encuentra en un 76% para ambas muestras.

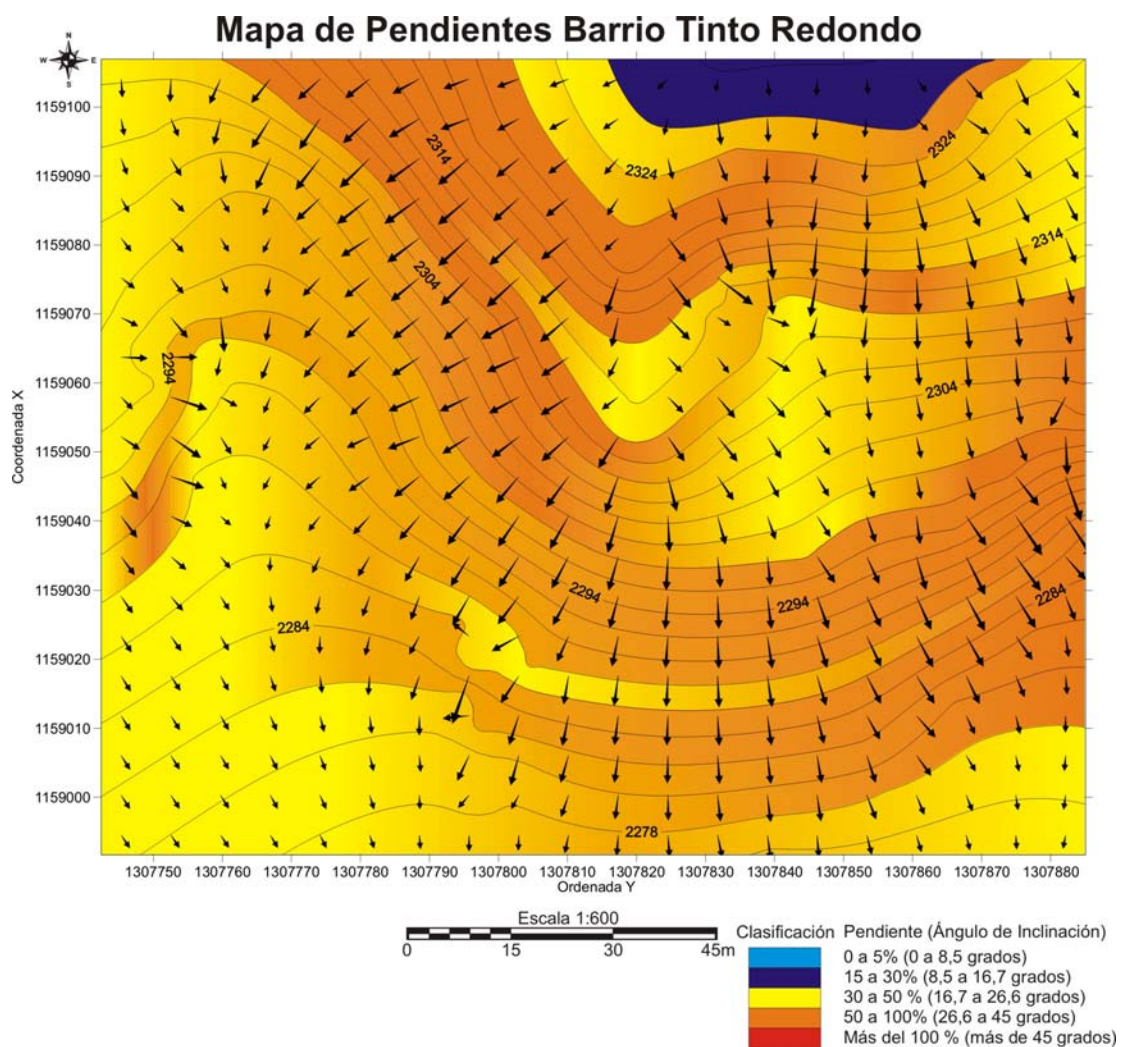


Figura 34, Mapa de pendientes Barrio Tinto Redondo.

En los Barrios EL Buque y Santa Marta (Loma Redonda) se hizo un ensayo de corte directo para la muestra 8 el cual arrojó una cohesión de más de 13 toneladas por m², un ángulo de fricción alto y con una humedad propia del ensayo del 29% y una humedad natural del 27% a esto se le puede agregar que el hecho del material de no dejarse moldear para hacer sus respectivos ensayos, se les considera materiales inservibles para ser estabilizados, además que sus humedades naturales son las más altas registradas en todos los barrios.

Se observan pendientes bajas en la parte alta de la montaña que no exceden los 26 grados, pero a medida que se desciende se acentúan las mismas llegando a tener en la mitad de la montaña una zona con pendientes que sobrepasan los 45 grados, para terminar con pendientes moderadas en el pie de la ladera (Ver Figura 35 y Anexo 5).

Las muestras VI-T1-S1, VI-T2-S2 y VI-T3-S1 que son de la Universidad de Pamplona están clasificadas como arcillas inorgánicas, con algo de gravas, arenas e incluso hasta limos, excepto la muestra VI-T2-S1 que es una arena mal gradada con un porcentaje de finos del 32%. Las muestras VI-T1-S1 y VI-T2-S2 están calificadas con grado de actividad normal y la muestra VI-T3-S1 está particularmente bastante alta de su límite de calificación activa, recordando que las que se encuentran dentro de este rango presentan características de gran expansibilidad y bajo ángulo de fricción y que además no está dentro de los parámetros ideales para procesos ingenieriles tal como se encuentra actualmente. En términos generales la Universidad tiene suelos aptos para uso en terraplenes pero como soporte y fundación son deficientes a malos. Las pendientes son bajas pero esto es debido a que toda el área está construida, sobreentendiéndose que ya el suelo fue

acondicionado para las obras que allí se llevaron a cabo (Ver Figura 36 y Anexo 6).

Mapa de Pendientes El Buque-Santa Marta (Loma Redonda)

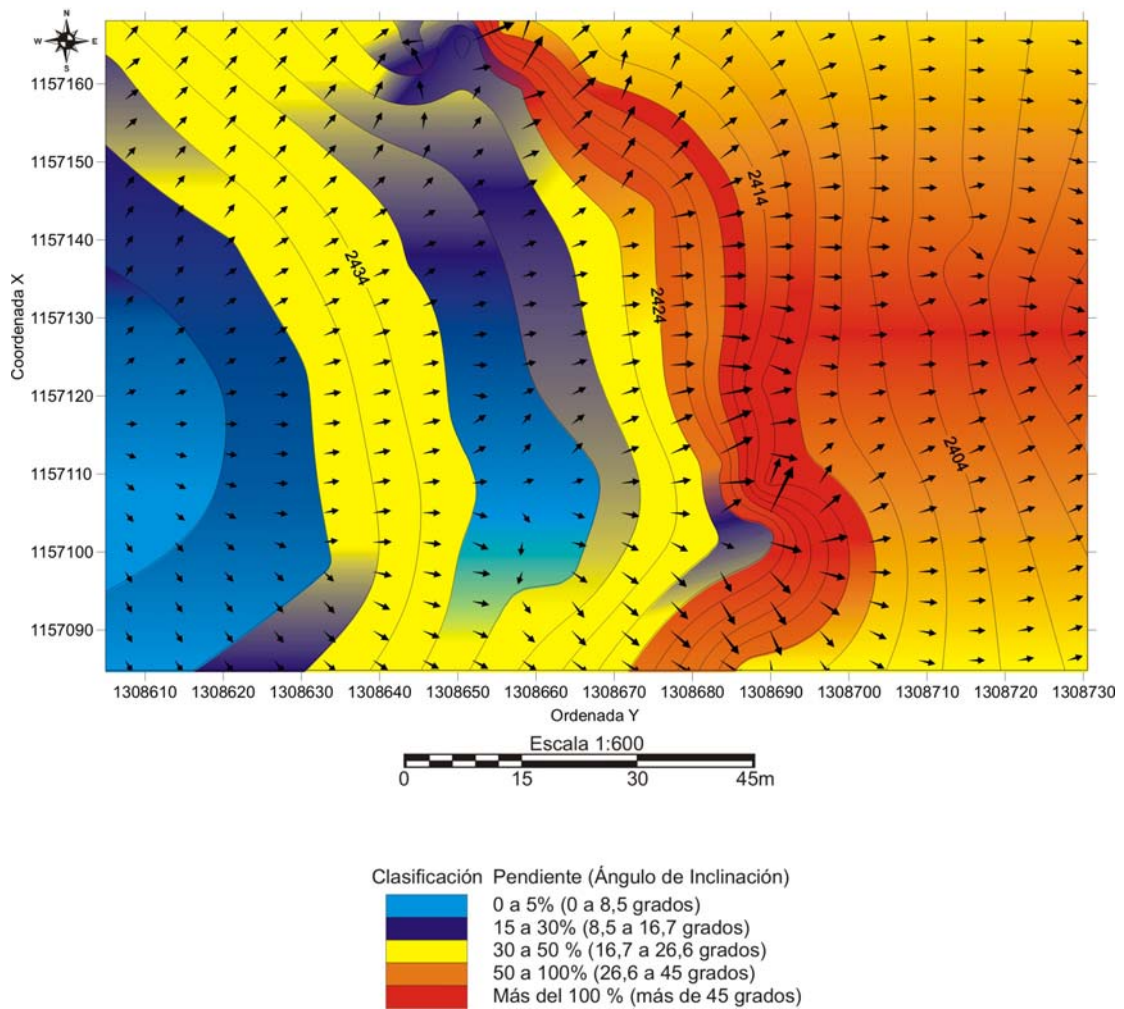


Figura 35, Mapa de pendientes Barrios El Buque – Santa Marta (Loma Redonda)

Mapa de Pendientes UNIPAMPLONA

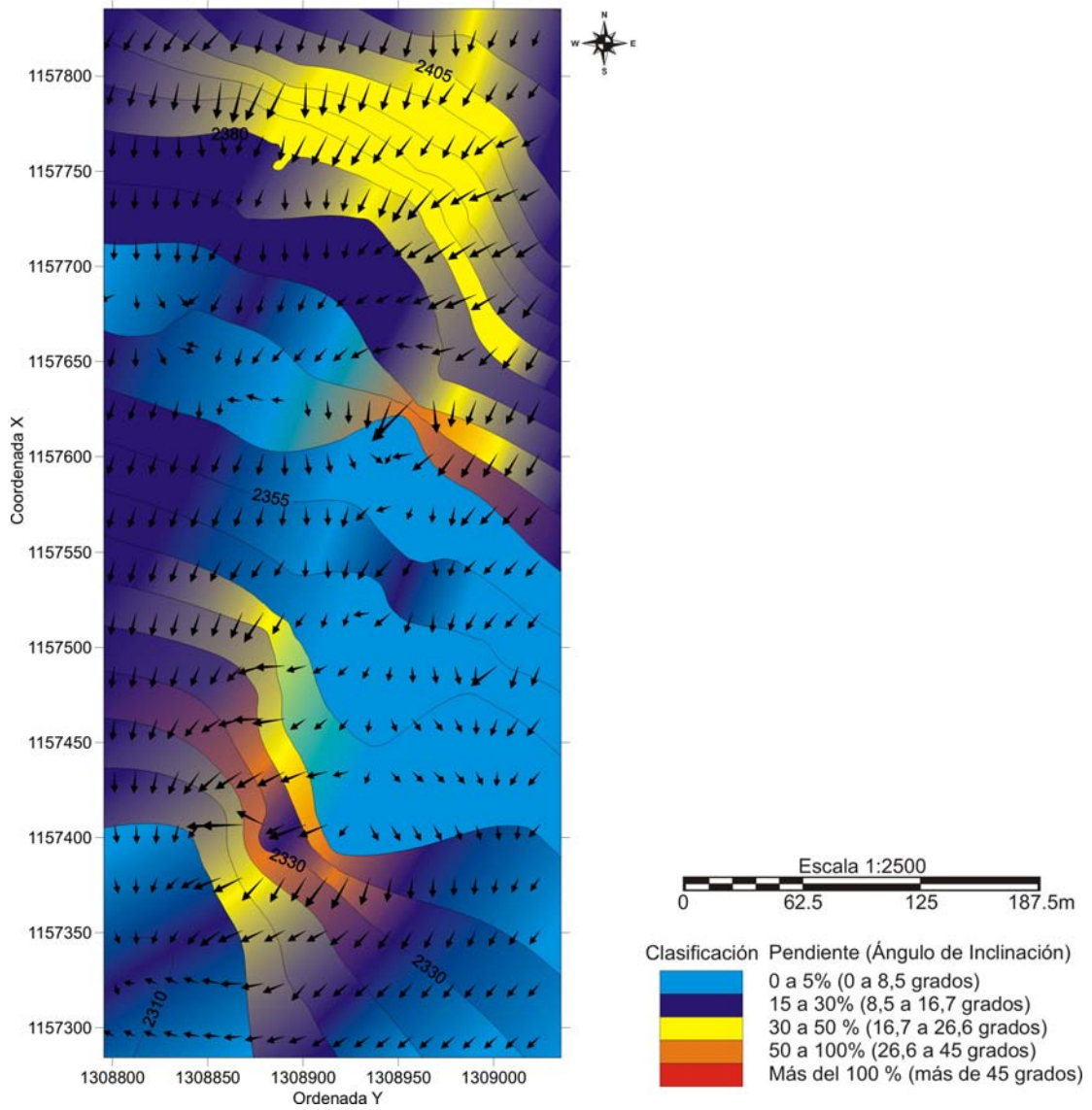


Figura 36, Mapa de pendientes Universidad de Pamplona.

Los resultados del análisis cualitativo por difracción de rayos x hechos a las muestras de los barrios Juan XXIII, Chíchira, El Buque, Santa Marta y la Universidad de Pamplona arrojaron que en las muestras no clasificadas de El Buque y Santa Marta se reconocieron minerales como el cuarzo y la moscovita y aunque este análisis no fue cuantitativo se puede deducir que los minerales nombrados anteriormente son los que predominan en las muestras ya que estos no son minerales arcillosos, por lo tanto no tienen la característica fundamental que los diferencia, que es la adsorción, por ende no hay cohesión ni plasticidad y esto aclara el porque de la imposibilidad de hacer los ensayos de Atterberg (ver Anexo 7).

De otra parte, es importante destacar que todas las muestras contienen minerales arcillosos pertenecientes al grupo de la caolinita tales como la caolinita, la gibsita y la dickita que aunque no son tan expansivos como los minerales pertenecientes al grupo de la montmorillonita, sí tienen la capacidad de hacerlo en menor grado.

El mapa de riesgos que se elaboró para el área de estudio muestra que La Universidad de Pamplona (ver figura 37) y los barrios Chíchira y El Progreso son zonas con evidencias de deslizamientos y procesos de inestabilidad anteriores bien definidos y las formas de erosión son evidentes aun.

Los barrios Juan XXIII y Tinto Redondo son zonas con deslizamientos antiguos que no han sufrido movimientos recientes pero con procesos erosivos activos.

Por último los barrios El Buque y Santa Marta presentan la más grave amenaza de todas las zonas ya que evidencian deslizamientos activos bien definidos y zonas húmedas (ver Anexo 9).



Figura 37, Deslizamiento zona norte UNIPAMPLONA.

10. CONCLUSIONES

Las zonas de Pamplona que fueron sometidas a este estudio preliminar de suelos, tienen la confluencia de fenómenos regionales que pueden generar complicaciones en las diferentes obras civiles que se hayan ejecutado en la ciudad de Pamplona y las que en un futuro pudieran ejecutarse.

Es importante resaltar que los barrios Chíchira, El Progreso y Tinto redondo, están localizados sobre roca mas joven y fresca lo cual les aporta ciertas condiciones favorables de resistencia geomecánica; mientras que los Barrios Santa Marta, El Buque y la zona de La Universidad de Pamplona, se encuentran edificados sobre roca muy antigua y completamente meteorizada, condición esta que genera propiedades geomecánicas muy bajas, y el Barrio Juan XXIII se encuentra sobre un coluvial que es material sedimentario no consolidado.

La muestra tomada en el barrio Juan XXIII está calificada como activa lo que le da unas características “exclusivas” de las arcillas, pero presenta una ambigüedad debido a su poca plasticidad y cohesión media, características éstas más acordes a un limo. Este hecho puede ser explicado por el contenido de material orgánico que allí se encuentra, ya que este material posee comportamientos muy similares a los que tienen las arcillas.

Las pendientes que se presentan en el barrio El Progreso son mayores de 45 grados, ya generaron problemas de deslizamientos. Aunque este suelo se

clasificó como una arena, su fracción fina es alta y carece de las propiedades de plasticidad y cohesión, de lo cual puede deducirse que está compuesto de minerales no arcillosos en su mayoría, hecho que se pudo clarificar con los análisis cualitativos de difracción por rayos x (ver Anexo 7). Este tipo de suelos dificultan su estabilización.

Los dos tipos de suelos que fueron encontrados en el barrio Chíchira, sugieren una “aparentemente estabilidad”, y deberían causar problemas que fueran de fácil remedio, pero involucrando la variable de las altas pendientes que en algunas zonas es hasta de más de 45 grados, hace que Chíchira, al igual que otros barrios no esté exento de fenomenos de deslizamientos. El análisis de corte directo permite concluir que la cohesión y el ángulo de fricción son altos lo que de cierta forma ha mantenido la situación en aparente estabilidad.

Las muestras que se tomaron en el barrio Tinto Redondo son las que aparentemente, presentan las mejores condiciones de estabilidad, primero por los resultados que se obtuvieron gracias a los ensayos realizados a las muestras, tanto como la comprobación visual en campo de la existencia de roca dentro del mismo barrio, aunque tienen el inconveniente generalizado de pendientes pronunciadas y algún caso de deslizamiento.

El mapa de pendientes de loma redonda que comprende los barrios El Buque y Santa Marta mostró en esta zona una particular forma de distribución de las pendientes, en la parte alta de la montaña hay pendientes suaves, en la parte media se presentan las mayores pendientes alcanzando hasta 45 grados e incluso mas, por último en el pie de monte tenemos pendientes poco menos inclinadas. Esta situación puede crear problemas de estabilidad, sólo por este factor; además se le puede agregar que es una

zona desprovista de cobertura vegetal y afectada por quemas locales que facilitan cualquier proceso de erosión con sus subsecuentes resultados, como ocurrió ya hace poco menos de tres años con resultados funestos para la población que allí reside.

Los problemas que se presentan en la infraestructura de la Universidad de Pamplona, tales como agrietamiento de las paredes y despegues en escaleras contiguas a los edificios, puede deducirse, que pueden ser el resultado de las complicaciones que traen consigo las características inherentes de las arcillas, tales como la expansibilidad, plasticidad, etc. Según los análisis de laboratorio, tenemos una clasificación de tipo “arcilla” para la mayoría de suelos que de allí se extrajeron, con las cohesiones y los ángulos de fricción mas bajos que se registraron en todos los ensayos de corte directo en los diferentes barrios de Pamplona y como se pudo comprobar en el campus de la Universidad el material presenta una gran plasticidad evidente al tacto y la vista.

11. RECOMENDACIONES

Hacer perforaciones para determinar y detallar espesores y perfiles de los suelos, e incluso encontrar roca, esto último es relevante para saber la disposición de la misma, ya que se podrían generar deslizamientos por la zona de contacto entre la roca y el suelo.

Debido al predominio de las pendientes de moderadas a altas, en las áreas estudiadas, no es viable construir taludes muy inclinados, y se hace necesario análisis de estabilidad de los mismos, para encontrar los parámetros de resistencia propia del material y el valor portante del suelo que es subyacente al pie del talud.

Se necesita hacer control de drenajes, y canalización de aguas para evitar procesos erosivos y de infiltración, además de llevar a cabo análisis hidrológicos para determinar los niveles freáticos del municipio.

Se debe propender por una campaña de reforestación de las áreas devastadas por la tala de árboles que se está sucediendo en la zona de estudio, además que esta iniciativa aparte de darle estabilidad a los suelos ayuda en la conservación de las fuentes hídricas tan importantes para el desarrollo de cualquier comunidad.

Control estricto por parte de las autoridades municipales sobre el uso del suelo en la parte agrícola ya que esto favorece el desarrollo de la capa orgánica en las zonas, debilitando la capacidad portante de los suelos.

Por último, es importante que no se haga ningún tipo de obra o construcción sin antes haber realizado los estudios que se sugirieron anteriormente.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

Arango, A. 1992 Manual de Laboratorio de Mecánica de Suelos, Universidad Nacional de Colombia, Sec. Medellín.

ASTM 1952, Ensayo de Corte Directo en Suelos, ASTM STP No. 131.

Badillo J., Rodríguez R., 1998 Mecánica de Suelos, Tomo I, Fundamentos de la Mecánica de Suelos, ed. LIMUSA..

Bertram, G.E. 1965 “Ensayos de suelos fundamentales en la construcción”.

Boulder, ASCE 1960, Conferencia de Investigación Sobre Resistencia al Corte en Suelos Cohesivos. Colorado.

Bowles, Joseph E., 1981 Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, McGRAW-HILL.

Bowles, Joseph E., Propiedades Geofísicas de los Suelos, McGRAW-HILL.

Campos, N. 1999. Estudio Mineralógico y Petrográfico de las Metamorfitas al Occidente del Municipio de Mutiscua (Norte de

Santander). Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia), 137p.

Castellanos, O. 1999. Estudio Mineralógico y Petrográfico de la Formación Silgará en la Franja Pescadero-Aratoca (Santander). Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga (Colombia).

De Porta, J. 1974 Léxico Estratigráfico. Colombia. CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE..

IGAC, 2005. Estudio de Suelos de Norte de Santander. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Julivert, M. 1968 Léxico Estratigráfico. Colombia. CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE..

Lee, K. L. 1970, Comparación de Ensayos Deformación Planas y Triaxiales sobre Arenas, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, SM-3, Mayo pp. 901-923.

Toussaint, J. F. 1993 Evolución Geológica de Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

UIS, 1999 Manual de Procedimientos Técnicos, Procedimiento de Realización de ensayos, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., y Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e Ingeominas. Boletín Geológico, Vol. XXI(1-3), pp. 1-132.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C. and Vargas, L. 1970. Mapa Geológico del Cuadrángulo H-13, Pamplona, Colombia. Ingeominas.

Ward, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Tellez, I., y Jaramillo, C. 1969b. Mapa Geológico de San Gil y Málaga (parte de los Cuadrángulos I-12 y I-13), Colombia. Ingeominas.

Zambrano, J.E., 1996, Curso de Geología Básica Aplicada, Bucaramanga, Publicaciones UIS.

<http://Info.moz.uasnet.mx>

<http://greco.fmc.cie.uva.es>

<http://ftp.unb.br>

<http://icc.ucv.cl>

13. ANEXOS

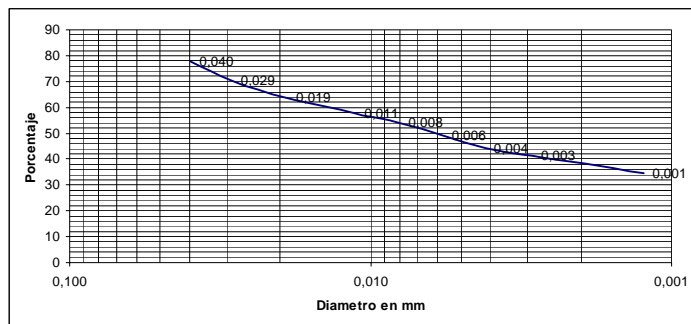
**Anexo 1,
Ensayos de Laboratorio Barrio Juan
XXIII.**

Humedades Naturales Muestras Pamplona								
Muestra	Profundidad (m)	Barrio	Peso Cápsula (gr)	Peso Cápsula + Muestra Humeda	Peso Cápsula + Muestra Seca	Peso Muestra Humeda	Peso Muestra Seca	% Humedad
I - T1 - S1	0,800	Juan XXIII	1,0462	19,3521	15,7495	18,3059	14,7033	24,50198255

Actividad: Juan XXIII, I-T1-S1 $a = 5,871516134 / 4 = 1.468$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO - I-T1-S1 - Juan XXIII													
Fecha Lectura	Hora de la Lectura	Tiempo en Minutos	Temperatura Grados C	Correccion Temperatura	Lectura Real Hidrometro	Lectura corregida RC	% Más Fino	Hidrometro Corregido Menisco	Prof. Efect. L (cm) Tabla	L / (t min)	K de las Tablas	Diámetro en mm	% Ajustado a Gruesogranular
18/04/2006	14:35												
	14:36	1	22	0,40	45	40,60	77,82397668	44	9,1	9,1	0,0131	0,040	66,64326536
	14:37	2	22	0,40	41	36,60	70,15658981	40	9,7	4,85	0,0131	0,029	60,07742641
	14:40	5	22	0,40	37,5	33,10	63,4476263	36,5	10,4	2,08	0,0131	0,019	54,33231732
	14:50	15	22	0,40	34,5	30,10	57,69708616	33,5	10,9	0,72666667	0,0131	0,011	49,40793811
	15:05	30	22	0,40	32,5	28,10	53,86339272	31,5	11,2	0,37333333	0,0131	0,008	46,12501863
	15:35	60	22	0,40	30	25,60	49,07127593	29	11,5	0,19166667	0,0131	0,006	42,02136929
	16:35	120	22	0,40	27,5	23,10	44,27915914	26,5	12	0,1	0,0131	0,004	37,91771994
	18:45	250	22	0,40	26	21,60	41,40388907	25	12,2	0,0488	0,0131	0,003	35,45553034
19/04/2006	14:35	1440	22	0,40	22,5	18,10	34,69492556	21,5	12,9	0,00895833	0,0131	0,001	29,71042126

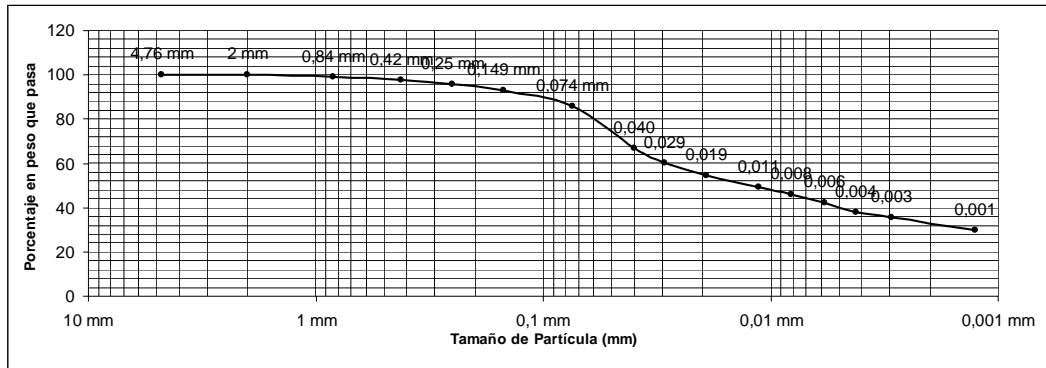
Factor de correccion a	a = 0,9889
Gravedad Especifica	2,7
Peso de la Muestra (gr)	51,59



Análisis Granulométrico Muestra - I - T1 - S1 - Barrio Juan XXIII

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Despues de Lavado (gr)
600	86,5

# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
I - T1 - S1	4	4,76 mm	598,80 gr	598,80 gr	0,00 gr	0	100
	10	2 mm	515,20 gr	515,20 gr	0,00 gr	0	100
	20	0,84 mm	526,50 gr	531,60 gr	5,10 gr	0,85	99,15
	40	0,42 mm	484,20 gr	493,10 gr	8,90 gr	1,483333333	97,6666667
	60	0,25 mm	491,90 gr	502,40 gr	10,50 gr	1,75	95,9166667
	100	0,149 mm	458,20 gr	476,30 gr	18,10 gr	3,016666667	92,9
	200	0,074 mm	456,90 gr	500,50 gr	43,60 gr	7,266666667	85,63333333
I - T1 - S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	575,40 gr	0,20 gr	0,033333333	85,6



Datos Hidrométricos	
Diametro partículas mm	% Que Pasa Ajustado
0,040	66,64326536
0,029	60,07742641
0,019	54,33231732
0,011	49,40793811
0,008	46,12501863
0,006	42,02136929
0,004	37,91771994
0,003	35,45563034
0,001	29,71042126



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO ASTM 423-66 Y D424-59

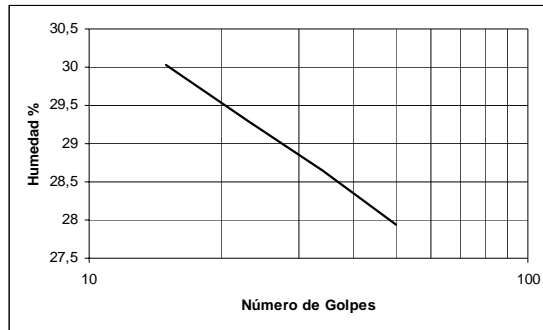
Límites de Atterberg - I-T1-S1 - Barrio Juan XXIII

Límite Líquido

Capsula N°	Número de Golpes	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
2	50	7,33	38,65	29,9	8,75	22,57	27,93742018
4	34	7,28	38,42	29,5	8,92	22,22	28,6448298
15	23	7,21	38,31	29,2	9,11	21,99	29,2926045
55	15	7,24	38,48	29,1	9,38	21,86	30,02560819

Límite Plástico

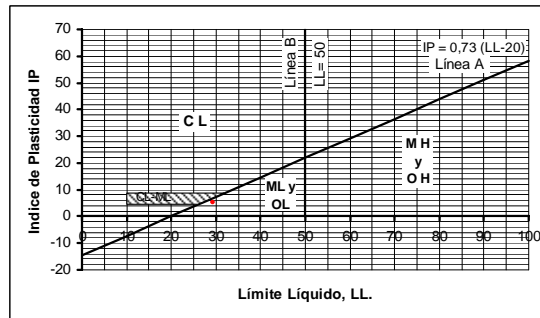
Capsula N°	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
70	7,01	12,36	11,1	1,26	4,09	23,55140187
88	7,15	12,54	11,3	1,24	4,15	23,00556586



Límite Líquido	29,15
Límite Plástico	23,27848387
Ind. De Plasticidad	5,871516134
Clasificación SUCS	ML - OL

Carta de plasticidad de Casagrande para la clasificación unificada

Indice de Plasticidad	LL	IP = 0,73 (LL-20)
0	0	-14,6
10	10	-7,3
20	20	0
30	30	7,3
40	40	14,6
50	50	21,9
60	60	29,2
70	70	36,5
80	80	43,8
90	90	51,1
100	100	58,4

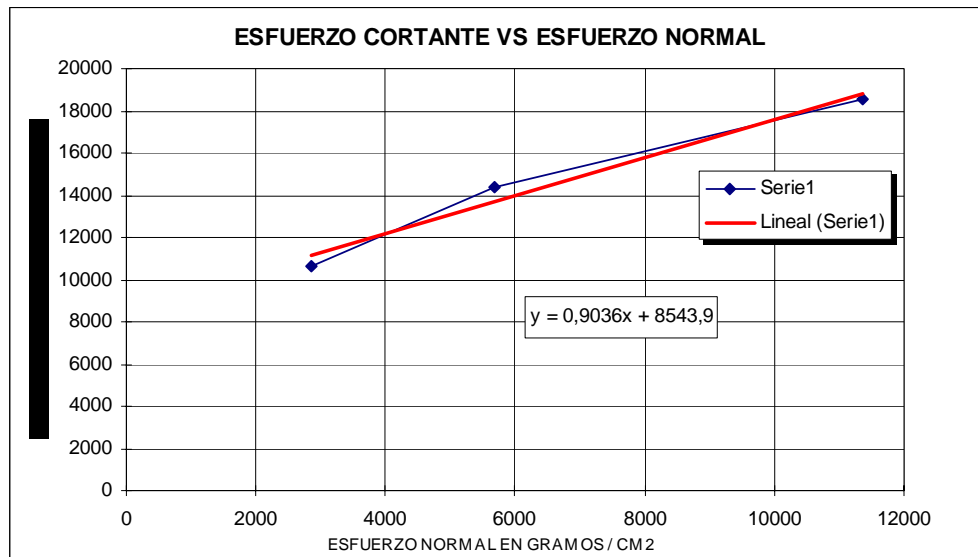




**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E- 154**

FECHA	22 de Marzo de 2006	SONDEO	1
PROYECTO	S- UNIPAMPLONA - ALC. PAMPLONA - EMPOPAMPLON	MUESTRA	I- T1 - S1
LOCALIZACION	Barrio Juan XXIII	PROFUNDIDAD	0,8 m

CARGA VERTICAL Kg	AREA m2	CARGA HORIZONTAL MAXIMA EN Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m2	ESFUERZO CORTANTE Kg/m2
8	0,0028	29,95	2842,03	10639,86
16	0,0028	40,50	5684,06	14387,79
32	0,0028	52,30	11368,13	18579,78



HUMEDAD %	19	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,9036	
ANGULO FRICCION	42	grados
COHESION	854,39	gr/cm2
COHESION	8543,90	kg/m2

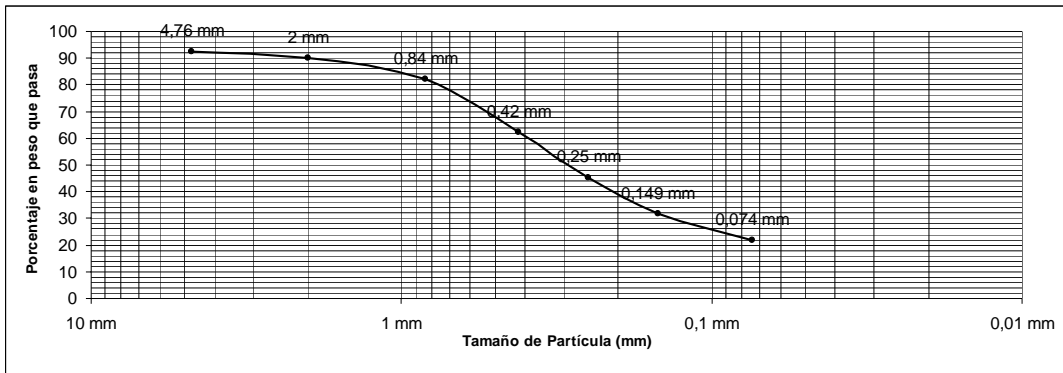
Anexo 2,
Ensayos de Laboratorio Barrio El
Progreso.

Humedades Naturales Muestras Pamplona								
Muestra	Profundidad (m)	Barrio	Peso Cápsula (gr)	Peso Cápsula + Muestra Humeda	Peso Cápsula + Muestra Seca	Peso Muestra Humeda	Peso Muestra Seca	% Humedad
II - T1 - S1	1,000	El Progreso	1,0092	15,5082	13,2915	14,4990	12,2823	18,04792262
II - T1 - S2	1,350	El Progreso	1,1710	21,0639	18,4114	19,8929	17,2404	15,38537389

Análisis Granulométrico Muestra - II - T1 - S1 - Barrio El Progreso

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)
600	470,6

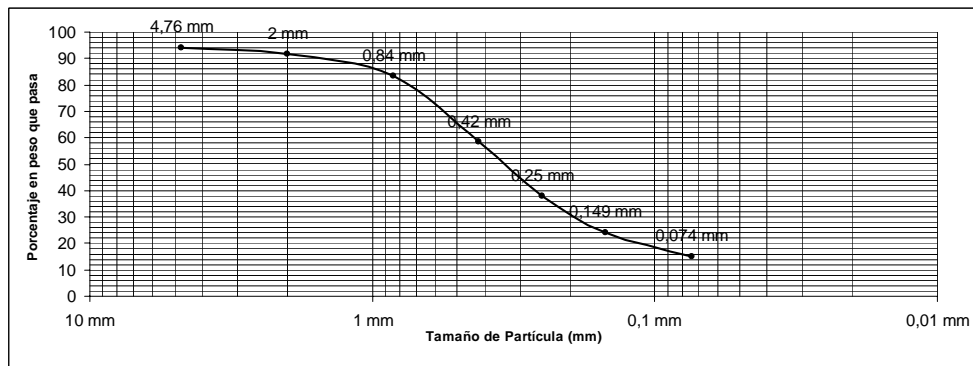
# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
II-T1-S1	4	4,76 mm	598,80 gr	643,00 gr	44,20 gr	7,366666667	92,63333333
	10	2 mm	515,20 gr	531,70 gr	16,50 gr	2,75	89,88333333
	20	0,84 mm	526,50 gr	572,80 gr	46,30 gr	7,716666667	82,16666667
	40	0,42 mm	484,20 gr	603,20 gr	119,00 gr	19,83333333	62,33333333
	60	0,25 mm	491,90 gr	594,00 gr	102,10 gr	17,01666667	45,31666667
	100	0,149 mm	458,20 gr	539,80 gr	81,60 gr	13,6	31,71666667
	200	0,074 mm	456,90 gr	516,00 gr	59,10 gr	9,85	21,86666667
II-T1-S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	576,50 gr	1,30 gr	0,216666667	21,65



Análisis Granulométrico Muestra - II - T1 - S2 - Barrio El Progreso

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)
600	513,3

# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
II-T1-S2	4	4,76 mm	598,80 gr	634,30 gr	35,50 gr	5,916666667	94,08333333
	10	2 mm	515,20 gr	530,40 gr	15,20 gr	2,533333333	91,55
	20	0,84 mm	526,50 gr	576,20 gr	49,70 gr	8,283333333	83,26666667
	40	0,42 mm	484,20 gr	633,00 gr	148,80 gr	24,8	58,46666667
	60	0,25 mm	491,90 gr	614,30 gr	122,40 gr	20,4	38,06666667
	100	0,149 mm	458,20 gr	542,50 gr	84,30 gr	14,05	24,01666667
	200	0,074 mm	456,90 gr	511,40 gr	54,50 gr	9,083333333	14,93333333
II-T1-S2	Pasa 200		Tara 575,20 gr	577,40 gr	2,20 gr	0,366666667	14,56666667



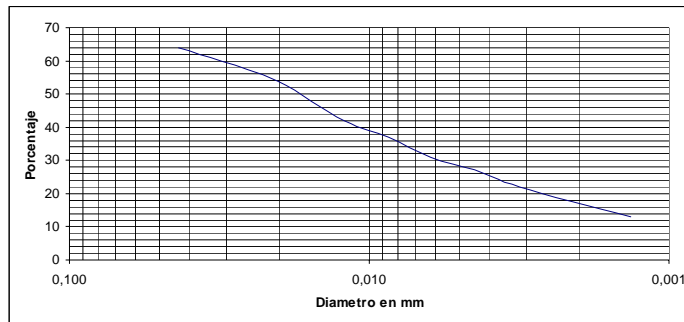
Anexo 3,
Ensayos de Laboratorio Barrio
Chíchira

Humedades Naturales Muestras Pamplona								
Muestra	Profundidad (m)	Barrio	Peso Cápsula (gr)	Peso Cápsula + Muestra Humeda	Peso Cápsula + Muestra Seca	Peso Muestra Humeda	Peso Muestra Seca	% Humedad
III - T1 - S1	1,000	Chichira	0,7850	19,5785	18,1133	18,7935	17,3283	8,45553228
III - T1 - S2	1,500	Chichira	0,9026	25,2090	22,3036	24,3064	21,401	13,57600112

Actividad: Chíchira, III-T1-S2. $a = 5,333540824 / 4 = 1.33$

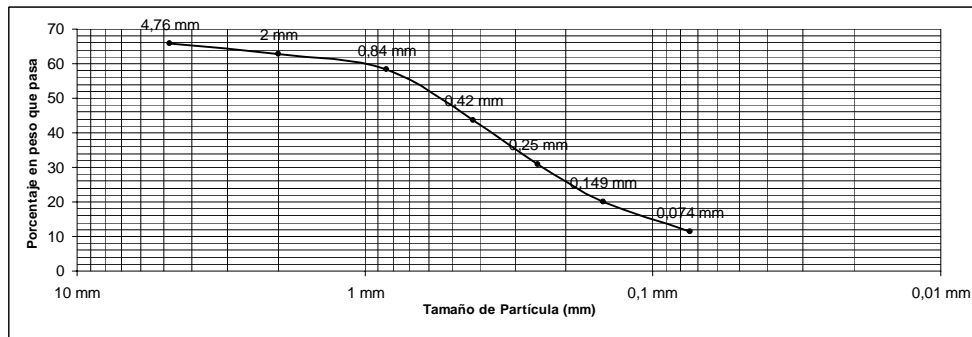
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO - III-T1-S2 - BARRIO CHÍCHIRA													
Fecha Lectura	Hora de la Lectura	Tiempo en Minutos	Temperatura Grados C	Correccion Temperatura	Lectura Real Hidrometro	Lectura corregida RC	% Más Fino	Hidrometro Corregido Menisco	Prof. Efect. L (cm) Tabla	L / (t min)	K de las Tablas	Diámetro en mm	% Ajustado a Guesogranular
19/04/2006	09:42												
	09:43	1	22	0,40	36,5	32,10	63,85518202	35,5	10,5	10,5	0,0133	0,043	49,98796499
	09:44	2	22	0,40	34,5	30,10	59,876666	33,5	10,9	5,45	0,0133	0,031	46,87345003
	09:47	5	22	0,40	31,5	27,10	53,90889198	30,5	11,4	2,28	0,0133	0,020	42,20167761
	09:57	15	22	0,40	25,5	21,10	41,97334394	24,5	12,4	0,826666667	0,0133	0,012	32,85813275
	10:12	30	22	0,40	23	18,60	37,00019893	22	12,7	0,423333333	0,0133	0,009	28,96498906
	10:42	60	22	0,40	20	15,60	31,03242491	19	13,2	0,22	0,0133	0,006	24,29321663
	11:42	120	22	0,40	18	13,60	27,05390889	17	13,5	0,1125	0,0133	0,004	21,17870168
	13:52	250	22	0,40	15,5	11,10	22,08076388	14,5	14	0,056	0,0133	0,003	17,28555799
20/04/2006	09:42	1440	22	0,40	11	6,60	13,12910284	10	14,7	0,010208333	0,0133	0,001	10,27789934

Factor de correccion a	a = 1
Gravedad Especifica	2,65
Peso de la Muestra (gr)	50,27



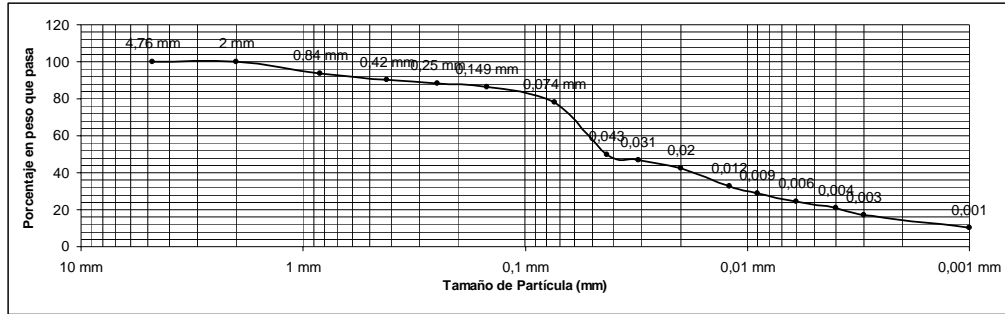
Análisis Granulométrico Muestra - III - T1 - S1 - Barrio Chichira

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Despues de Lavado (gr)	# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
600	532,2	III-T1-S1	4	4,76 mm	598,80 gr	803,60 gr	204,80 gr	34,13333333	65,86666667
			10	2 mm	515,20 gr	532,90 gr	17,70 gr	2,95	62,91666667
			20	0,84 mm	526,50 gr	554,20 gr	27,70 gr	4,616666667	58,3
			40	0,42 mm	484,20 gr	571,70 gr	87,50 gr	14,58333333	43,71666667
			60	0,25 mm	491,90 gr	568,60 gr	76,70 gr	12,78333333	30,93333333
			100	0,149 mm	458,20 gr	523,20 gr	65,00 gr	10,83333333	20,1
			200	0,074 mm	456,90 gr	508,70 gr	51,80 gr	8,633333333	11,46666667
		III-T1-S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	576,10 gr	0,90 gr	0,15	11,31666667



Análisis Granulométrico Muestra - III - T1 - S2 - Barrio Chíchira

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)	# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
600	130,57	III-T1-S2	4	4,76 mm	598,80 gr	598,80 gr	0,00 gr	0	100
			10	2 mm	515,20 gr	515,20 gr	0,00 gr	0	100
			20	0,84 mm	526,50 gr	566,00 gr	39,50 gr	6,583333333	93,41666667
			40	0,42 mm	484,20 gr	503,30 gr	19,10 gr	3,183333333	90,23333333
			60	0,25 mm	491,90 gr	503,20 gr	11,30 gr	1,883333333	88,35
			100	0,149 mm	458,20 gr	471,20 gr	13,00 gr	2,166666667	86,18333333
			200	0,074 mm	456,90 gr	504,30 gr	47,40 gr	7,9	78,28333333
		III-T1-S2	Pasa 200		Tara 575,20 gr	575,30 gr	0,10 gr	0,016666667	78,26666667



Datos Hidrométricos	
Diametro partículas mm	% Que Pasa Ajustado
0,043	49,988
0,031	46,873
0,02	42,202
0,012	32,857
0,009	28,964
0,006	24,291
0,004	21,178
0,003	17,285
0,001	10,277



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO ASTM 423-66 Y D424-59

Límites de Atterberg - III-T1-S2 - Barrio Chichira

Límite Líquido

Capsula N°	Número de Golpes	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
13	42	7,28	38,11	32,07	6,04	24,79	19,59130717
121	32	6,26	38,98	32,3	6,68	26,04	20,41564792
109	25	6,74	38,87	32,13	6,74	25,39	20,9772798
14	17	6,92	38,91	31,87	7,04	24,95	22,00687715

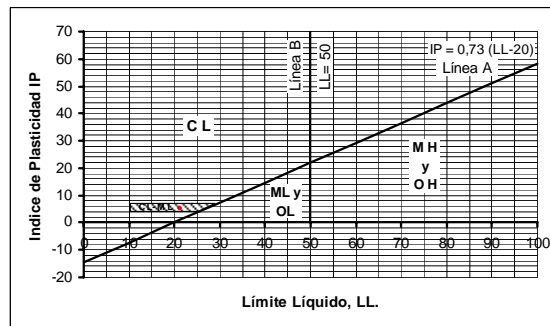
Límite Plástico

Capsula N°	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
69	7,02	12,27	11,47	0,8	4,45	15,23809524
3	6,44	12,92	11,88	1,04	5,44	16,04938272



Límite Líquido	20,9772798
Límite Plástico	15,64373898
Ind. De Plasticidad	5,333540824
Clasificación SUCS	CL - ML

Carta de plasticidad de Casagrande para la		
Índice de Plasticidad	LL	IP = 0,73 (LL-20)
0	0	-14,6
10	10	-7,3
20	20	0
30	30	7,3
40	40	14,6
50	50	21,9
60	60	29,2
70	70	36,5
80	80	43,8
90	90	51,1
100	100	58,4

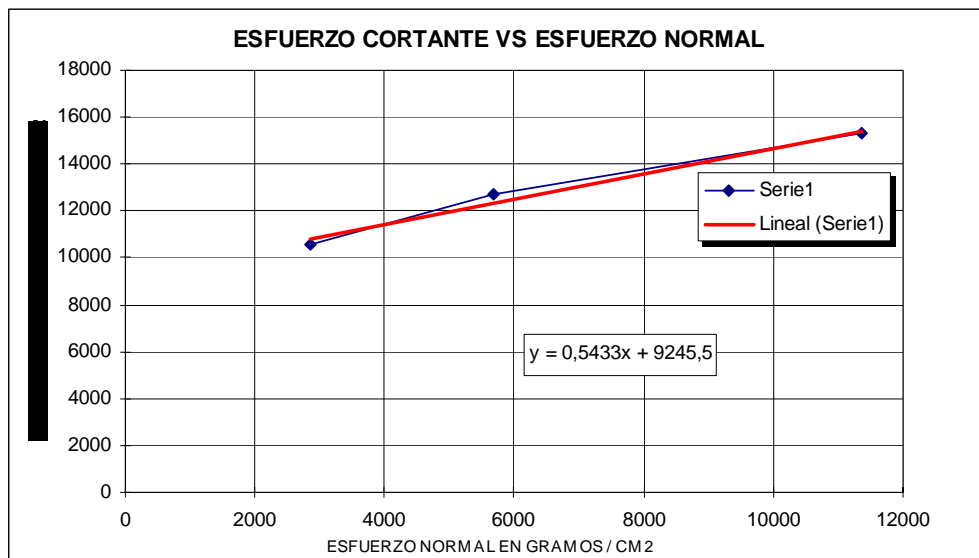




**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E- 154**

FECHA	22 de Marzo de 2006	SONDEO	1
PROYECTO	S- UNIPAMPLONA - ALC. PAMPLONA - EMPOPAMPLON	MUESTRA	III - T1 - S2
LOCALIZACION	Barrio Chichira	PROFUNDIDAD	1,5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m ²	MAXIMA EN Kg	Kg/m ²	Kg/m ²
8	0,0028	29,65	2842,03	10533,28
16	0,0028	35,80	5684,06	12718,09
32	0,0028	43,05	11368,13	15293,68



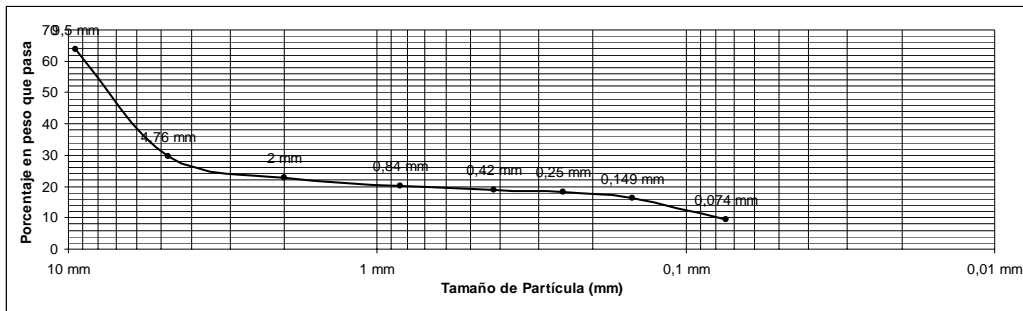
HUMEDAD %	15	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,5433	
ANGULO FRICCION	29	grados
COHESION	924,55	gr/cm ²
COHESION	9245,50	kg/m ²

Anexo 4,
Ensayos de Laboratorio Barrio Tinto
Redondo

Humedades Naturales Muestras Pamplona								
Muestra	Profundidad (m)	Barrio	Peso Cápsula (gr)	Peso Cápsula + Muestra Humeda	Peso Cápsula + Muestra Seca	Peso Muestra Humeda	Peso Muestra Seca	% Humedad
IV - T1 - S1	0,850	Tinto Redondo	0,6299	27,3854	26,0070	26,7555	25,3771	5,431668709
IV - T1 - S2	1,400	Tinto Redondo	0,8413	23,5917	22,4157	22,7504	21,5744	5,450904776

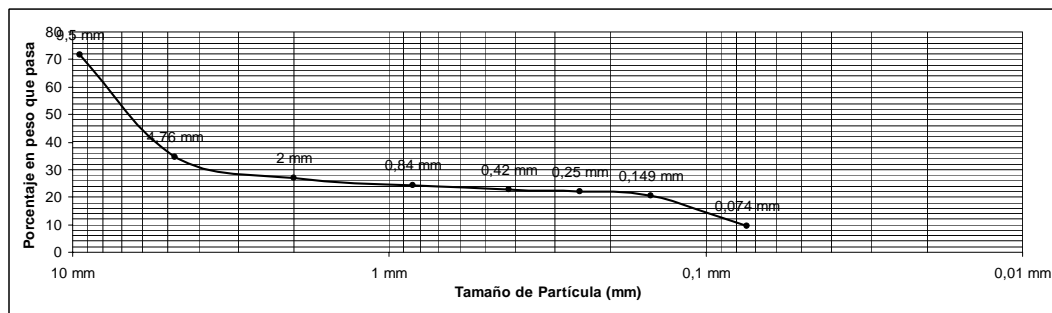
Análisis Granulométrico Muestra - IV - T1 - S1 - Barrio Tinto Redondo

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)	# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
600	544,6	IV-T1-S1	3/8	9,5 mm	537,90 gr	755,15	217,25 gr	36,20833333	63,79166667
			4	4,76 mm	598,80 gr	804,55 gr	205,75 gr	34,29166667	29,5
			10	2 mm	515,20 gr	554,80 gr	39,60 gr	6,6	22,9
			20	0,84 mm	526,50 gr	542,20 gr	15,70 gr	2,616666667	20,28333333
			40	0,42 mm	484,20 gr	493,00 gr	8,80 gr	1,466666667	18,81666667
			60	0,25 mm	491,90 gr	495,30 gr	3,40 gr	0,566666667	18,25
			100	0,149 mm	458,20 gr	469,10 gr	10,90 gr	1,816666667	16,43333333
			200	0,074 mm	456,90 gr	498,50 gr	41,60 gr	6,933333333	9,5
		IV-T1-S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	576,70 gr	1,50 gr	0,25	9,25



Análisis Granulométrico Muestra - IV - T1 - S2 - Barrio Tinto Redondo

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)	# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
600	544,2	IV-T1-S2	3/8	9,5 mm	537,90 gr	707,90 gr	170,00 gr	28,33333333	71,66666667
			4	4,76 mm	598,80 gr	822,10 gr	223,30 gr	37,21666667	34,45
			10	2 mm	515,20 gr	559,90 gr	44,70 gr	7,45	27
			20	0,84 mm	526,50 gr	542,80 gr	16,30 gr	2,716666667	24,28333333
			40	0,42 mm	484,20 gr	492,90 gr	8,70 gr	1,45	22,83333333
			60	0,25 mm	491,90 gr	496,40 gr	4,50 gr	0,75	22,08333333
			100	0,149 mm	458,20 gr	466,90 gr	8,70 gr	1,45	20,63333333
			200	0,074 mm	456,90 gr	524,40 gr	67,50 gr	11,25	9,383333333
		IV-T1-S2	Pasa 200		Tara 575,20 gr	575,30 gr	0,10 gr	0,016666667	9,366666667

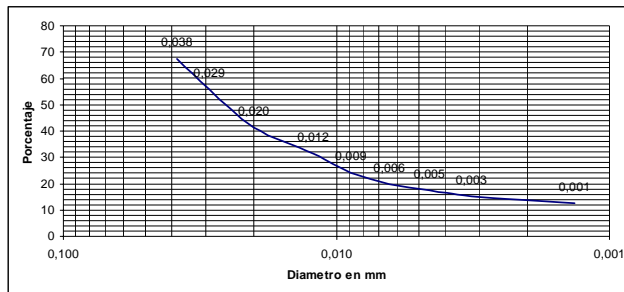


Anexo 5,
Ensayos de Laboratorio Barrios
El Buque-Santa Marta

Humedades Naturales Muestras Pamplona								
Muestra	Profundidad (m)	Barrio	Peso Cápsula (gr)	Peso Cápsula + Muestra Humeda	Peso Cápsula + Muestra Seca	Peso Muestra Humeda	Peso Muestra Seca	% Humedad
V - T1 - S1	0,700	El Buque - Santa Marta	1,3678	19,7012	15,7946	18,3334	14,4268	27,07877007
V - T1 - S2	1,400	El Buque - Santa Marta	1,1600	22,5387	17,8719	21,3787	16,7119	27,92501152

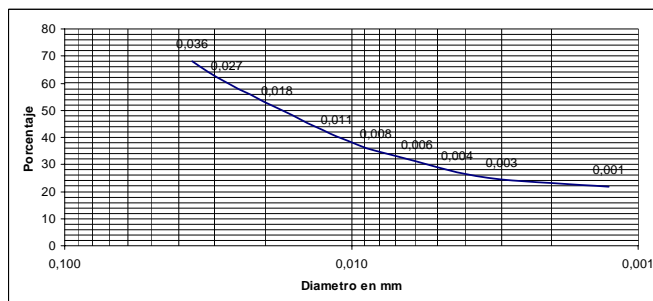
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO - V-T1-S1 - BARRIOS EL BUQUE SANTA-MARTA													
Fecha Lectura	Hora de la Lectura	Tiempo en Minutos	Temperatura Grados C	Correccion Temperatura	Lectura Real Hidrometro	Lectura corregida RC	% Más Fino	Hidrometro Corregido Menisco	Prof. Efect. L (cm) Tabla	L / (t min)	K de las Tablas	Diámetro en mm	% Ajustado a Gruesogranular
19/04/2006	09:30												
	09:31	1	22	0.40	51	46,60	67,40461516	50	8,1	8,1	0,0135	0,038	51,40725316
	09:32	2	22	0.40	43	38,60	55,8330074	42	9,4	4,7	0,0135	0,029	42,58197365
	09:35	5	22	0.40	33	28,60	41,36849771	32	11,1	2,22	0,0135	0,020	31,55037426
	09:45	15	22	0.40	26	21,60	31,24334093	25	12,2	0,813333333	0,0135	0,012	23,82825468
	10:00	30	22	0.40	21	16,60	24,01108609	20	13	0,433333333	0,0135	0,009	18,31245499
	10:30	60	22	0.40	18	13,60	19,67173318	17	13,5	0,225	0,0135	0,006	15,00297517
	11:30	120	22	0.40	16,5	12,10	17,50205673	15,5	13,8	0,115	0,0135	0,005	13,34823526
	13:40	250	22	0.40	15	10,60	15,33238027	14	14	0,056	0,0135	0,003	11,69349535
20/04/2006	09:30	1440	22	0.40	13	8,60	12,43947833	12	14,3	0,00993056	0,0135	0,001	9,487175476

Factor de correccion a Gravedad Especifica	a = 1,011792453
Peso de la Muestra (gr)	69,95



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO - V-T1-S2 - BARRIOS EL BUQUE SANTA-MARTA													
Fecha Lectura	Hora de la Lectura	Tiempo en Minutos	Temperatura Grados C	Correccion Temperatura	Lectura Real Hidrometro	Lectura corregida RC	% Más Fino	Hidrometro Corregido Menisco	Prof. Efect. L (cm) Tabla	L / (t min)	K de las Tablas	Diámetro en mm	% Ajustado a Gruesogranular
18/04/2006	14:53												
	14:54	1	22	0.40	56	51,60	68,23747297	55	7,3	7,3	0,0133	0,036	52,38363342
	14:55	2	22	0.40	50	45,60	60,30288309	49	8,3	4,15	0,0133	0,027	46,29251325
	14:58	5	22	0.40	43	38,60	51,04586156	42	9,4	1,88	0,0133	0,018	39,18620639
	15:08	15	22	0.40	35	30,60	40,46640839	34	10,7	0,713333333	0,0133	0,011	31,06471284
	15:23	30	22	0.40	31	26,60	35,1766818	30	11,4	0,38	0,0133	0,008	27,00396606
	15:53	60	22	0.40	28	23,60	31,20938686	27	11,9	0,198333333	0,0133	0,006	23,95840598
	16:53	120	22	0.40	25	20,60	27,24209192	24	12,4	0,103333333	0,0133	0,004	20,9128459
	19:03	250	22	0.40	23	18,60	24,59722863	22	12,7	0,0508	0,0133	0,003	18,88247251
19/04/2006	14:53	1440	22	0.40	21	16,60	21,95236533	20	13	0,009027778	0,0133	0,001	16,85209912

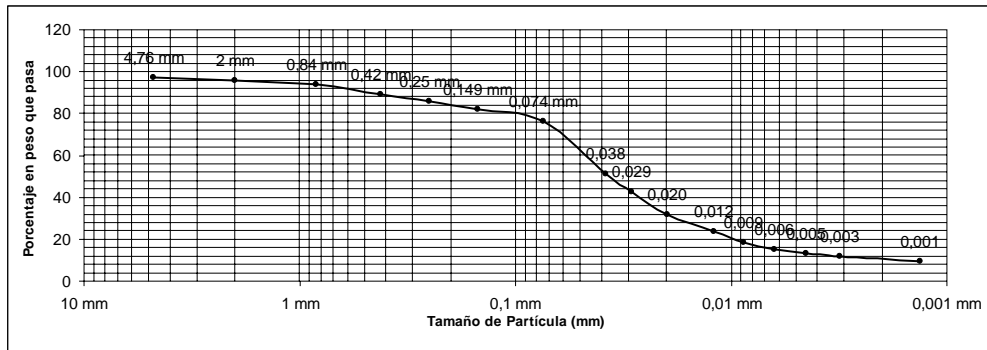
Factor de correccion a Gravedad Especifica	a = 1,011792453
Peso de la Muestra (gr)	76,51



Análisis Granulométrico Muestra - V-T1-S1 - Barrios Buque-Sta Marta

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Despues de Lavado (gr)
600	143

# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
V-T1-S1	4	4,76 mm	598,80 gr	615,00 gr	16,20 gr	2,7	97,3
	10	2 mm	515,20 gr	524,20 gr	9,00 gr	1,5	95,8
	20	0,84 mm	526,50 gr	537,60 gr	11,10 gr	1,85	93,95
	40	0,42 mm	484,20 gr	511,80 gr	27,60 gr	4,6	89,35
	60	0,25 mm	491,90 gr	512,00 gr	20,10 gr	3,35	86
	100	0,149 mm	458,20 gr	482,90 gr	24,70 gr	4,116666667	81,88333333
	200	0,074 mm	456,90 gr	490,60 gr	33,70 gr	5,616666667	76,26666667
V-T1-S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	575,60 gr	0,40 gr	0,066666667	76,2

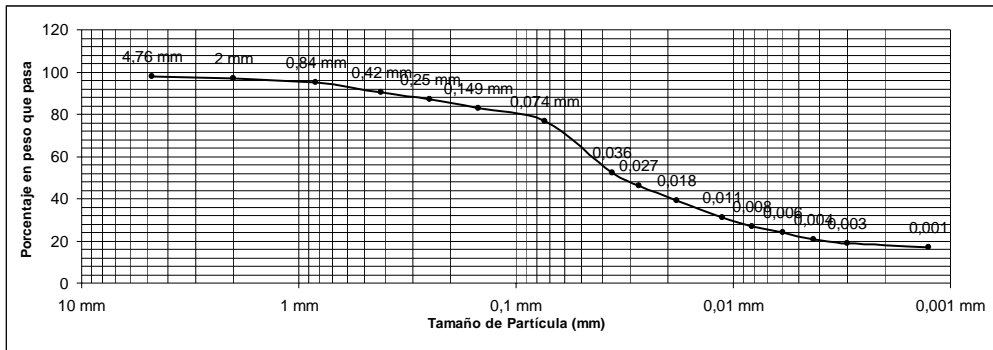


Datos Hidrometrías	
Diametro particulas mm	% Que Pasa Ajustado
0,038	51,40725316
0,029	42,58197365
0,020	31,55037426
0,012	23,62825468
0,009	18,31245499
0,006	15,00297517
0,005	13,34823526
0,003	11,69349535
0,001	9,487175476

Análisis Granulométrico Muestra - V-T1-S2 - Barrios Buque-Sta Marta

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)
600	139,9

# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
V-T1-S2	4	4,76 mm	598,80 gr	610,70 gr	11,90 gr	1,983333333	98,01666667
	10	2 mm	515,20 gr	522,20 gr	7,00 gr	1,166666667	96,85
	20	0,84 mm	526,50 gr	537,90 gr	11,40 gr	1,9	94,95
	40	0,42 mm	484,20 gr	511,60 gr	27,40 gr	4,566666667	90,38333333
	60	0,25 mm	491,90 gr	513,10 gr	21,20 gr	3,533333333	86,85
	100	0,149 mm	458,20 gr	483,60 gr	25,40 gr	4,233333333	82,61666667
	200	0,074 mm	456,90 gr	492,00 gr	35,10 gr	5,85	76,76666667
V-T1-S2	Pasa 200		Tara 575,20 gr	575,50 gr	0,30 gr	0,05	76,71666667



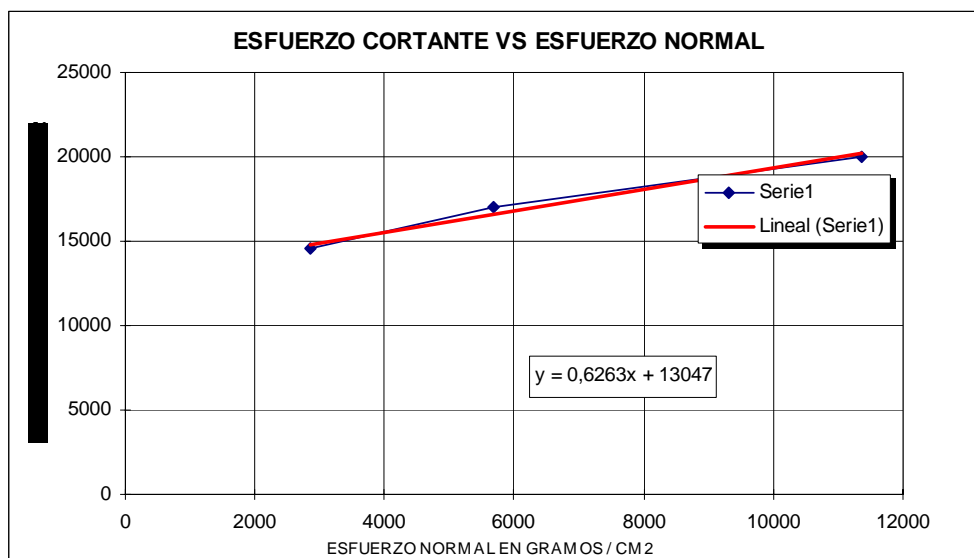
Datos Hidrometrías	
Diametro partículas mm	% Que Pasa Ajustado
0,036	52,38363342
0,027	46,29251325
0,018	39,18620639
0,011	31,06471284
0,008	27,00396606
0,006	23,95840598
0,004	20,9128459
0,003	18,88247251
0,001	16,85209912



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E- 154

FECHA	22 de Marzo de 2006	SONDEO	1
PROYECTO	S- UNIPAMPLONA - ALC. PAMPLONA - EMPOPAMPLON	MUESTRA	V - T1 - S1
LOCALIZACION	Barrios El Buque - Santa Marta	PROFUNDIDAD	0,7 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m2	MAXIMA EN Kg	Kg/m2	Kg/m2
8	0,0028	41,00	2842,03	14565,41
16	0,0028	47,85	5684,06	16998,90
32	0,0028	56,40	11368,13	20036,32



HUMEDAD %	29	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,6263	
ANGULO FRICCION	32	grados
COHESION	1304,7	gr/cm2
COHESION	13047	kg/m2

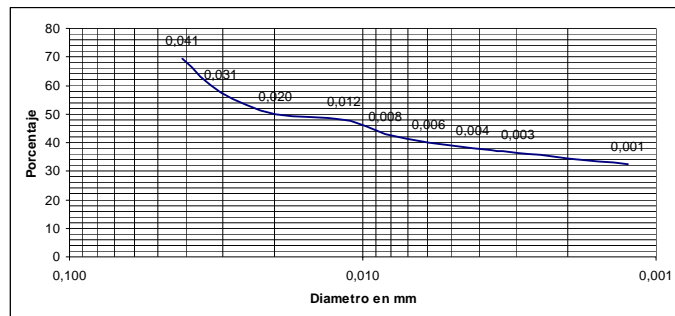
Anexo 6,
Ensayos de Laboratorio
UNIPAMPLONA

Humedades Naturales Muestras Pamplona								
Muestra	Prof. (m)	Barrio	Peso Cápsula (gr)	Peso Cápsula + Muestra Humeda	Peso Cápsula + Muestra Seca	Peso Muestra Humeda	Peso Muestra Seca	% Humedad
VI - T1 - S1	1,200	UNIPAMPLONA	0,7619	23,2817	19,2897	22,5198	18,5278	21,54600114
VI - T2 - S1	1,400	UNIPAMPLONA	0,8095	21,2439	19,1251	20,4344	18,3156	11,56828059
VI - T2 - S2	1,800	UNIPAMPLONA	0,7528	24,9626	20,7782	24,2098	20,0254	20,89546276
VI - T3 - S1	0,800	UNIPAMPLONA	0,7121	28,8037	22,1332	28,0916	21,4211	31,13985743

Actividad: UNIPAMPLONA, VI-T1-S1. $a = 2,182362923 / 2 = 1.091$
 UNIPAMPLONA, VI-T2-S2. $a = 2,082344341 / 1.85 = 1.125$
 UNIPAMPLONA, VI-T3-S1. $a = 7,650390042 / 1.3 = 5.885$

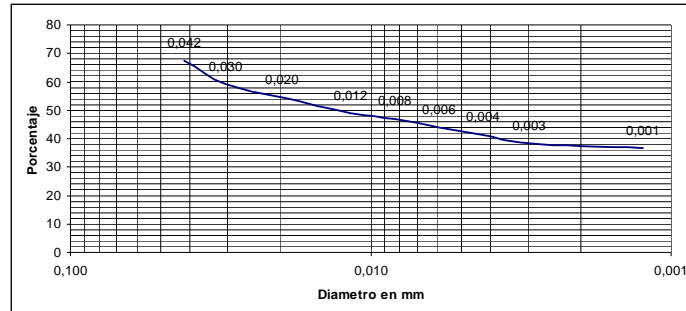
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO - VI-T1-S1 - UP													
Fecha Lectura	Hora de la Lectura	Tiempo en Minutos	Temperatura Grados C	Correccion Temperatura	Lectura Real Hidrometro	Lectura corregida RC	% Más Fino	Hidrometro Corregido Menisco	Prof. Efect. L (cm) Tabla	L / (t min)	K de las Tablas	Diámetro en mm	% Ajustado a Grueso granular
19/04/2006	09:36												
	09:37	1	22	0,40	40	35,60	69,3009517	39	9,9	9,9	0,0131	0,041	39,36294056
	09:38	2	22	0,40	34	29,60	57,62101602	33	10,9	5,45	0,0131	0,031	32,7287371
	09:41	5	22	0,40	30	25,60	49,83439223	29	11,5	2,3	0,0131	0,020	28,30593479
	09:46	15	22	0,40	29	24,60	47,88773629	28	11,7	0,78	0,0131	0,012	27,20023421
	10:06	30	22	0,40	26,5	22,10	43,02109642	25,5	12,2	0,40666667	0,0131	0,008	24,43598277
	10:36	60	22	0,40	25	20,60	40,1011125	24	12,4	0,20666667	0,0131	0,006	22,7774319
	11:36	120	22	0,40	24	19,60	38,15445655	23	12,5	0,10416667	0,0131	0,004	21,67173132
	13:46	250	22	0,40	23	18,60	36,20780061	22	12,7	0,0508	0,0131	0,003	20,56603074
20/04/2006	09:36	1440	22	0,40	21	16,60	32,31448871	20	13	0,00902778	0,0131	0,001	18,35462959

Factor de correccion a	a = 0,98890122
Gravedad Especifica	2,7
Peso de la Muestra (gr)	50,8



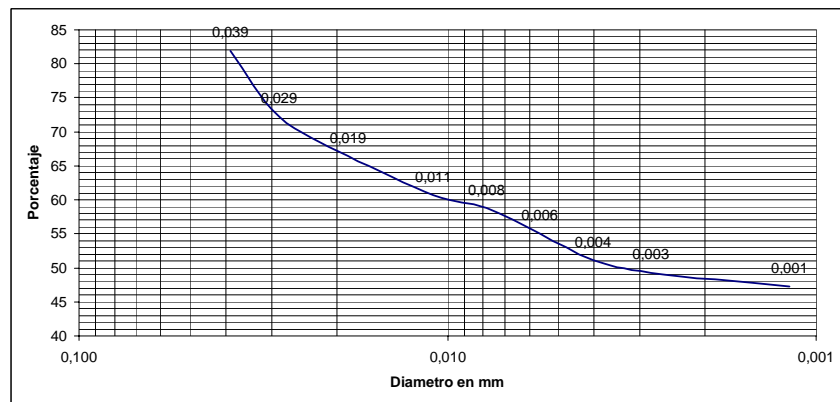
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO - VI-T2-S2 - UP													
Fecha Lectura	Hora de la Lectura	Tiempo en Minutos	Temperatura Grados C	Correccion Temperatura	Lectura Real Hidrometro	Lectura corregida RC	% Más Fino	Hidrometro Corregido Menisco	Prof. Elect. L (cm) Tabla	L / (t min)	K de las Tablas	Diámetro en mm	% Ajustado a Gruesogranular
18/04/2006	14:47												
	14:48	1	22	0,40	40,5	36,10	67,48925033	39,5	9,9	9,9	0,0133	0,042	37,88396585
	14:49	2	22	0,40	36	31,60	59,07646289	35	10,5	5,25	0,0133	0,030	33,16158783
	14:52	5	22	0,40	33,5	29,10	54,40269209	32,5	11,1	2,22	0,0133	0,020	30,53804449
	15:02	15	22	0,40	30,5	26,10	48,79416713	29,5	11,5	0,766666667	0,0133	0,012	27,38979248
	15:17	30	22	0,40	29,5	25,10	46,92465881	28,5	11,7	0,39	0,0133	0,008	26,34037515
	15:47	60	22	0,40	28	23,60	44,12039634	27	11,9	0,198333333	0,0133	0,006	24,76624914
	16:47	120	22	0,40	26,5	22,10	41,31613386	25,5	12,2	0,101666667	0,0133	0,004	23,19212314
	18:57	250	22	0,40	25	20,60	38,51187138	24	12,4	0,0496	0,0133	0,003	21,61799713
19/04/2006	14:47	1440	22	0,40	24	19,60	36,64236306	23	12,5	0,008680556	0,0133	0,001	20,5685798

Factor de correccion a	a = 1
Gravedad Especifica	2,65
Peso de la Muestra (gr)	53,49



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR HIDROMETRO - VI-T3-S1 - UP													
Fecha Lectura	Hora de la Lectura	Tiempo en Minutos	Temperatura Grados C	Correccion Temperatura	Lectura Real Hidrometro	Lectura corregida RC	% Más Fino	Hidrometro Corregido Menisco	Prof. Elect. L (cm) Tabla	L / (t min)	K de las Tablas	Diámetro en mm	% Ajustado a Gruesogranular
18/04/2006	14:41												
	14:42	1	22	0,40	47	42,60	81,8957854	46	8,8	8,8	0,0131	0,039	64,06980277
	14:43	2	22	0,40	42	37,60	72,28360401	41	9,6	4,8	0,0131	0,029	56,54987287
	14:46	5	22	0,40	39	34,60	66,51629518	38	10,1	2,02	0,0131	0,019	52,03791493
	14:56	15	22	0,40	36	31,60	60,74898635	35	10,5	0,7	0,0131	0,011	47,52595699
	15:11	30	22	0,40	35	30,60	58,82655007	34	10,7	0,356666667	0,0131	0,008	46,02197101
	15:41	60	22	0,40	33	28,60	54,98167752	32	11,1	0,185	0,0131	0,006	43,01399905
	16:41	120	22	0,40	31	26,60	51,13680497	30	11,4	0,095	0,0131	0,004	40,00602708
	18:51	250	22	0,40	30	25,60	49,21436869	29	11,5	0,046	0,0131	0,003	38,5020411
19/04/2006	14:41	1440	22	0,40	29	24,60	47,29193241	28	11,7	0,008125	0,0131	0,001	36,99805512

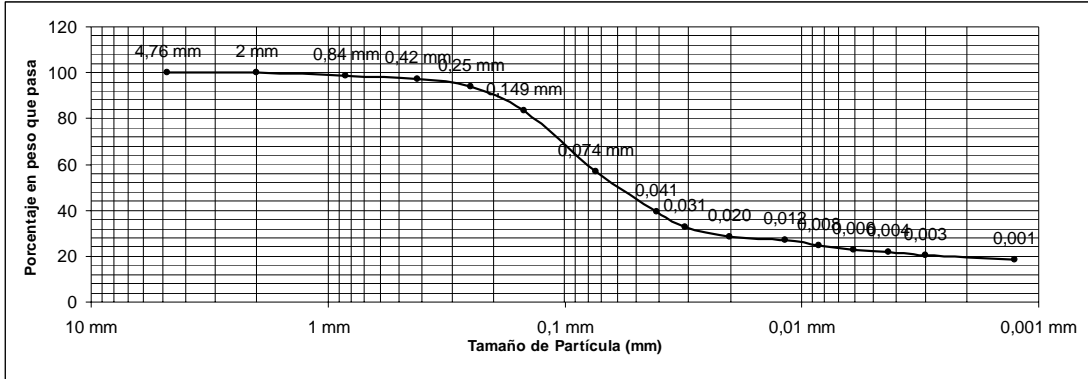
Factor de correccion a	a = 0,988901221
Gravedad Especifica	2,7
Peso de la Muestra (gr)	51,44



Análisis Granulométrico Muestra - VI - T1 - S1 - Universidad de Pamplona

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)
600	265,4

# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
VI-T1-S1	4	4,76 mm	598,80 gr	598,80 gr	0,00 gr	0	100
	10	2 mm	515,20 gr	515,20 gr	0,00 gr	0	100
	20	0,84 mm	526,50 gr	533,80 gr	7,30 gr	1,216666667	98,78333333
	40	0,42 mm	484,20 gr	494,90 gr	10,70 gr	1,783333333	97
	60	0,25 mm	491,90 gr	511,40 gr	19,50 gr	3,25	93,75
	100	0,149 mm	458,20 gr	520,00 gr	61,80 gr	10,3	83,45
	200	0,074 mm	456,90 gr	616,80 gr	159,90 gr	26,65	56,8
VI-T1-S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	581,10 gr	5,90 gr	0,983333333	55,81666667

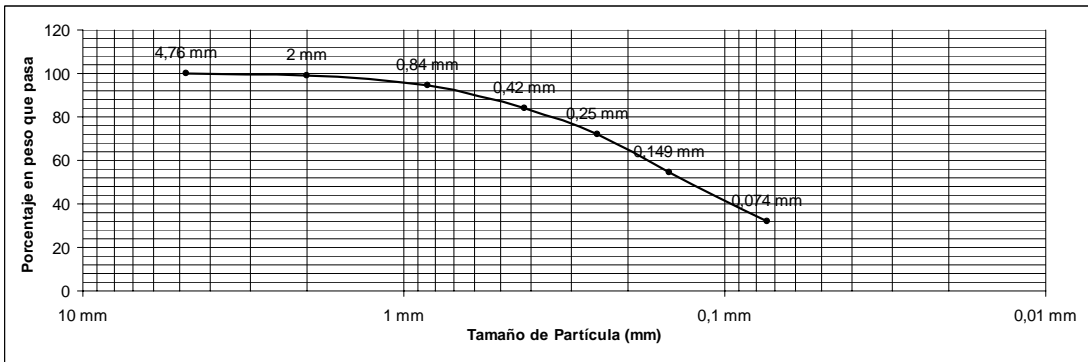


Datos Hidrometrías	
Diametro partículas mm	% Que Pasa Ajustado
0,041	39,3629406
0,031	32,7287371
0,020	28,30593479
0,012	27,20023421
0,008	24,43598277
0,006	22,7774319
0,004	21,67173132
0,003	20,56603074
0,001	18,35462959

Análisis Granulométrico Muestra - VI - T2 - S1 - Universidad de Pamplona

Peso Muestra Inicial (gr)	Peso Después de Lavado (gr)
600	408,3

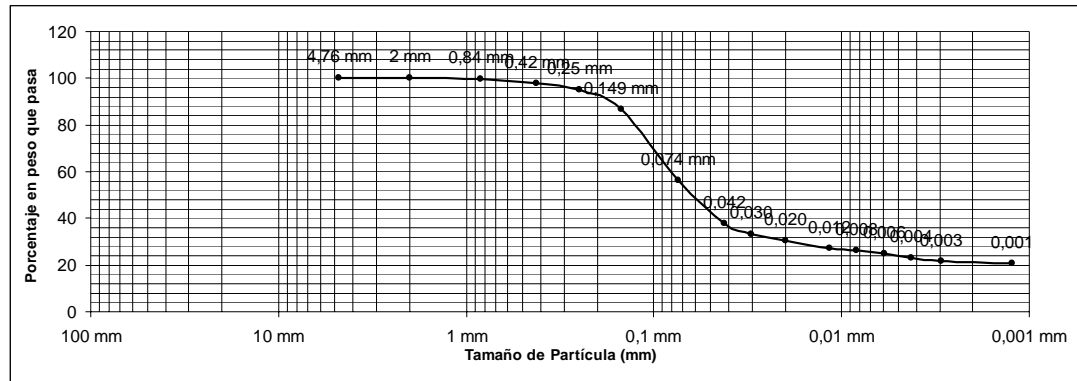
# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
VI-T2-S1	4	4,76 mm	598,80 gr	599,70 gr	0,90 gr	0,15	99,85
	10	2 mm	515,20 gr	521,30 gr	6,10 gr	1,016666667	98,83333333
	20	0,84 mm	526,50 gr	553,80 gr	27,30 gr	4,55	94,28333333
	40	0,42 mm	484,20 gr	544,70 gr	60,50 gr	10,08333333	84,2
	60	0,25 mm	491,90 gr	566,30 gr	74,40 gr	12,4	71,8
	100	0,149 mm	458,20 gr	560,80 gr	102,60 gr	17,1	54,7
	200	0,074 mm	456,90 gr	592,20 gr	135,30 gr	22,55	32,15
VI-T2-S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	575,80 gr	0,60 gr	0,1	32,05



Análisis Granulométrico Muestra - VI - T2 - S2 - Universidad de Pamplona

Peso Muestra Inicial (gr) 600	Peso Después de Lavado (gr) 266,8
---	---

# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
VI-T2-S2	4	4,76 mm	598,80 gr	598,80 gr	0,00 gr	0	100
	10	2 mm	515,20 gr	515,20 gr	0,00 gr	0	100
	20	0,84 mm	526,50 gr	528,90 gr	2,40 gr	0,4	99,6
	40	0,42 mm	484,20 gr	494,40 gr	10,20 gr	1,7	97,9
	60	0,25 mm	491,90 gr	508,30 gr	16,40 gr	2,733333333	95,16666667
	100	0,149 mm	458,20 gr	509,70 gr	51,50 gr	8,583333333	86,58333333
	200	0,074 mm	456,90 gr	639,60 gr	182,70 gr	30,45	56,13333333
VI-T2-S2	Pasa 200		Tara 575,20 gr	578,30 gr	3,10 gr	0,516666667	55,61666667

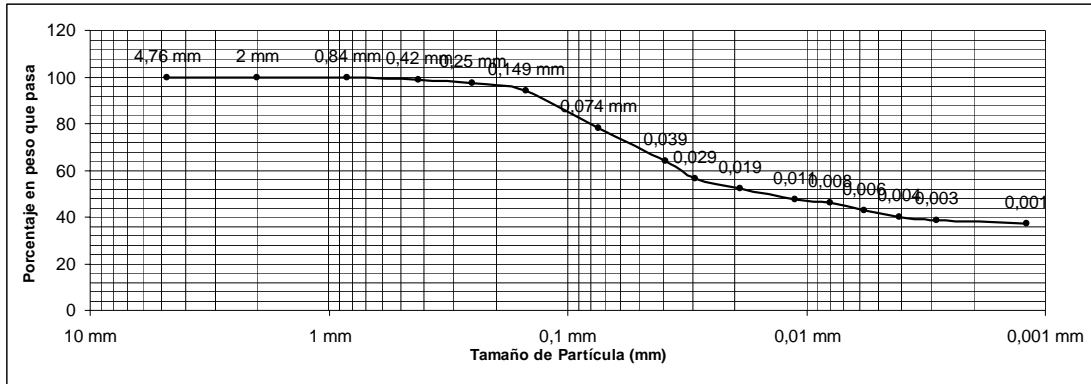


Datos Hidrometrías	
Diametro partículas mm	% Que Pasa Ajustado
0,042	37,88396585
0,030	33,16158783
0,020	30,53804449
0,012	27,38979248
0,008	26,34037515
0,006	24,76624914
0,004	23,19212314
0,003	21,61799713
0,001	20,5685798

Análisis Granulométrico Muestra - VI - T3 - S1 - Universidad de Pamplona

Peso Muestra Inicial (gr) 600	Peso Después de Lavado (gr) 132,6
---	---

# Muestra	Retenido en Malla Número	Diametro Malla en mm	Peso Tamiz	Peso Muestra + Tamiz	Peso Muestra	% Retenido	% Que Pasa
VI-T3-S1	4	4,76 mm	598,80 gr	598,80 gr	0,00 gr	0	100
	10	2 mm	515,20 gr	515,20 gr	0,00 gr	0	100
	20	0,84 mm	526,50 gr	526,80 gr	0,30 gr	0,05	99,95
	40	0,42 mm	484,20 gr	490,80 gr	6,60 gr	1,1	98,85
	60	0,25 mm	491,90 gr	500,50 gr	8,60 gr	1,433333333	97,41666667
	100	0,149 mm	458,20 gr	476,90 gr	18,70 gr	3,116666667	94,3
	200	0,074 mm	456,90 gr	553,30 gr	96,40 gr	16,06666667	78,23333333
VI-T3-S1	Pasa 200		Tara 575,20 gr	577,00 gr	1,80 gr	0,3	77,93333333



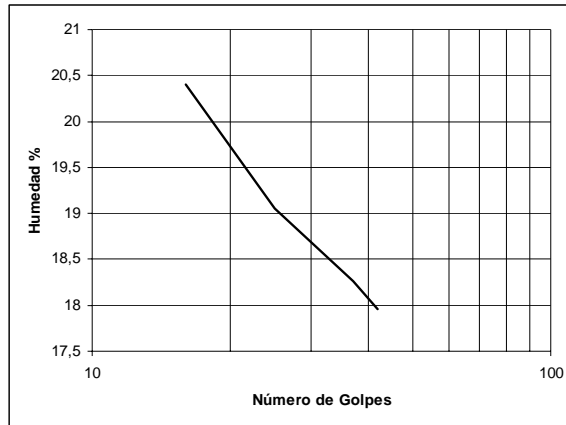
Datos Hidrometrías	
Diametro partículas mm	% Que Pasa Ajustado
0,039	64,06980277
0,029	56,54987287
0,019	52,03791493
0,011	47,52595699
0,008	46,02197101
0,006	43,01399905
0,004	40,00602708
0,003	38,5020411
0,001	36,99805512

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO ASTM 423-66 Y D424-59

Limites de Atterberg UNIPAMPLONA

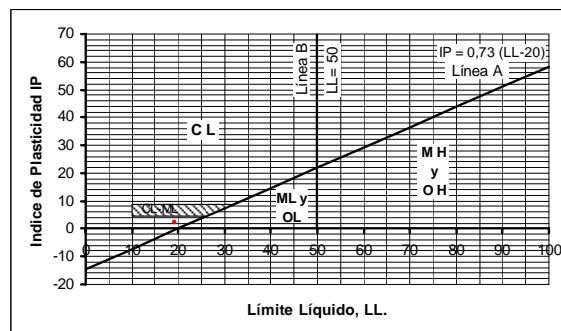
Límite Líquido							
Capsula N°	Número de Golpes	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
199	42	7,02	38,2	32,6	5,6	25,58	17,96023092
2	37	6,68	38,6	32,77	5,83	26,09	18,26441103
334	25	7,14	38,74	32,72	6,02	25,58	19,05063291
14	16	7,29	38,7	32,29	6,41	25	20,40751353

Límite Plástico						
Capsula N°	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
3	6,92	11,84	11	0,84	4,08	17,07317073
78	7,11	13,04	12,04	1	4,93	16,86340641



Límite Líquido	19,05063291
Límite Plástico	16,96828857
Ind. De Plasticidad	2,082344341
Clasificación SUCS	CL

Indice de Plasticidad	LL	IP = 0,73 (LL-20)
0	0	-14,6
10	10	-7,3
20	20	0
30	30	7,3
40	40	14,6
50	50	21,9
60	60	29,2
70	70	36,5
80	80	43,8
90	90	51,1
100	100	58,4





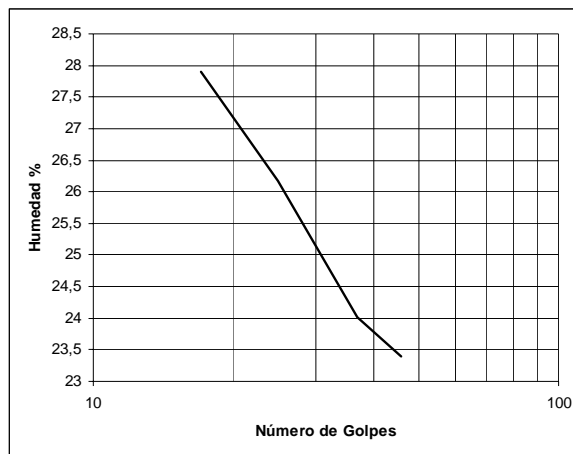
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO DE UN SUELO ASTM 423-66 Y D424-59
 Límites de Atterberg - VI-T3-S1 - UNIPAMPLONA

Límite Líquido

Capsula N°	Número de Golpes	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
31	46	7,03	38,7	31,29	7,41	24,26	23,3975371
64	37	6,69	38,5	30,86	7,64	24,17	24,01760453
34	25	7,36	38,7	30,5	8,2	23,14	26,16464582
320	17	6,72	38,7	29,78	8,92	23,06	27,89243277

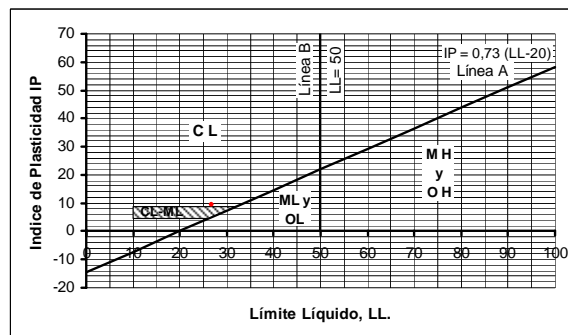
Límite Plástico

Capsula N°	Peso Capsula (gr)	Peso Capsula + Suelo Humedo (gr)	Peso Capsula + Suelo Seco (gr)	Peso del Agua (gr)	Peso Suelo Seco (gr)	Contenido de Agua %
41	7,34	12,42	11,43	0,99	4,09	19,48818898
188	7,34	12,3	11,43	0,87	4,09	17,54032258



Límite Líquido	26,16464582
Límite Plástico	18,51425578
Ind. De Plasticidad	7,650390042
Clasificación SUCS	CL

Indice de Plasticidad	LL	IP = 0,73 (LL-20)
0	0	-14,6
10	10	-7,3
20	20	0
30	30	7,3
40	40	14,6
50	50	21,9
60	60	29,2
70	70	36,5
80	80	43,8
90	90	51,1
100	100	58,4

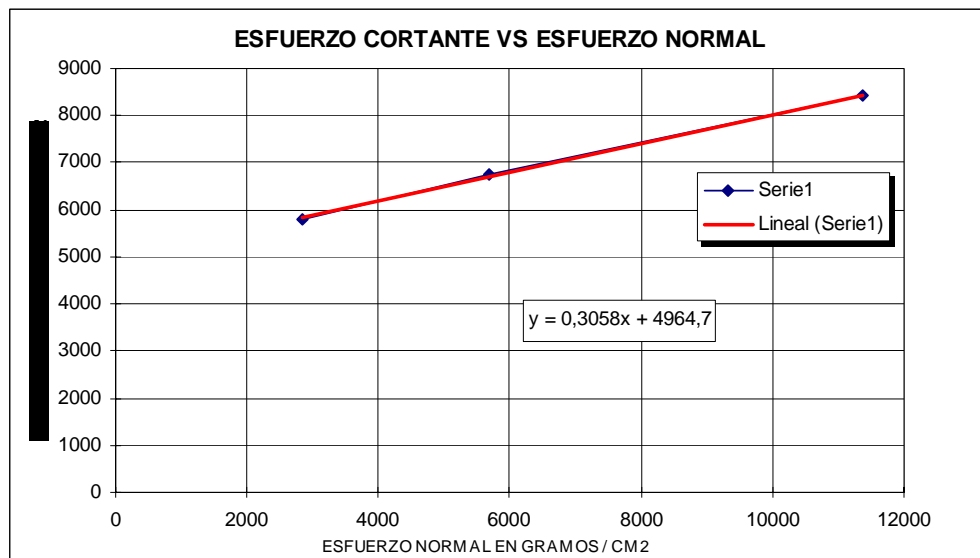




**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E- 154**

FECHA	22 de Marzo de 2006	SONDEO	2
PROYECTO	S- UNIPAMPLONA - ALC. PAMPLONA - EMPOPAMPLON	MUESTRA	VI - T2 - S2
LOCALIZACION	Universidad de Pamplona	PROFUNDIDAD	1,5 m

CARGA VERTICAL	AREA	CARGA HORIZONTAL	ESFUERZO NORMAL	ESFUERZO CORTANTE
Kg	m ²	MAXIMA EN Kg	Kg/m ²	Kg/m ²
8	0,0028	16,30	2842,03	5790,64
16	0,0028	19,05	5684,06	6767,59
32	0,0028	23,70	11368,13	8419,52



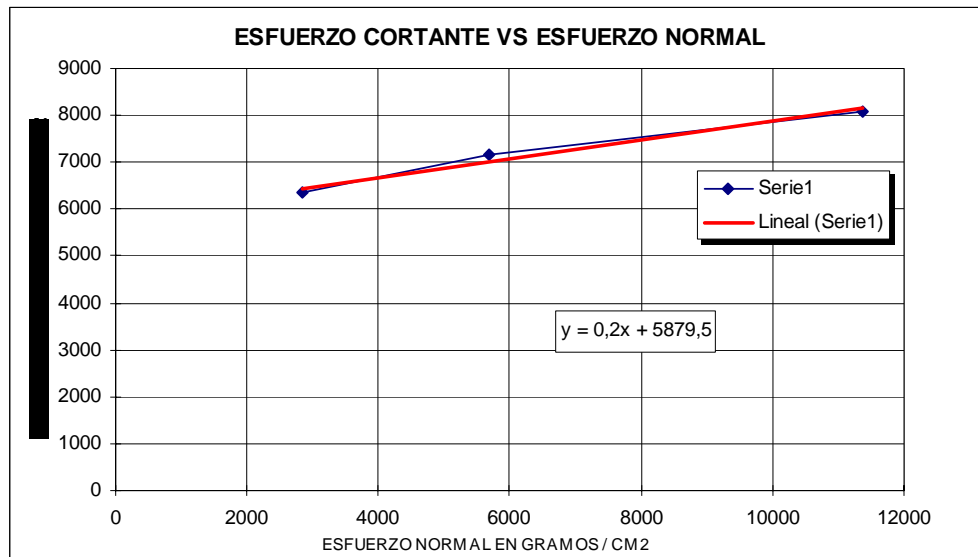
HUMEDAD %	21	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,3058	
ANGULO FRICCION	17	grados
COHESION	496,47	gr/cm ²
COHESION	4964,70	kg/m ²



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ENSAYO DE CORTE DIRECTO INV E- 154**

FECHA	22 de Marzo de 2006	SONDEO	3
PROYECTO	S- UNIPAMPLONA - ALC. PAMPLONA - EMPOPAMPLON	MUESTRA	VI- T3 - S1
LOCALIZACION	Universidad de Pamplona	PROFUNDIDAD	0,8 m

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA HORIZONTAL MAXIMA EN Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0,0028	17,85	2842,03	6341,28
16	0,0028	20,20	5684,06	7176,13
32	0,0028	22,80	11368,13	8099,79



HUMEDAD %	23	DE ENSAYO
PENDIENTE	0,2	
ANGULO FRICCION	11	grados
COHESION	587,95	gr/cm ²
COHESION	5879,50	kg/m ²

Anexo 7,
Ensayos de Rayos X



LABORATORIO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS-X

INF-035-06

Bucaramanga, Abril 26 de 2006

ESCUELA DE GEOLOGIA
Alexander Rodríguez
UIS/Presente

Cordial saludo:

Adjunto a la presente envío los resultados del análisis cualitativo por Difracción de Rayos-X de siete (7) muestras de suelos entregada el 19 de Abril de 2006.

Atentamente,

JOSÉ ANTONIO HENAO MARTÍNEZ
Director
Laboratorio de Difracción de Rayos-X
Telefax: 7-6347166

METODOLOGÍA

1. Preparación y Montaje de las muestras

El espécimen seleccionado de la muestra fue montado en un portamuestra de aluminio mediante la técnica de llenado lateral.

2. Toma de datos de difracción

Se realizó en un difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB bajo las siguientes condiciones:

Voltaje		40(kV)
Corriente		15(mA)
Rendijas (Slits)	DS	1.0°
	RS	0.3mm
	SS	1.0°
Muestreo		0.02° 2theta
Rango de Medición		10-90° 2theta
Radiación		CuK α 1
Monocromador		Grafito

Identificación de fases

Tipo de barrido	continuo
Velocidad de Barrido	1.2°/min

3. Análisis por Difracción de Rayos-X

Identificación de fases

El análisis cualitativo de las fases presentes en la muestra se realizó mediante comparación del perfil observado con los perfiles de difracción reportados en la base de datos PDF-2 del International Centre for Diffraction data (ICDD).

*Los resultados se relacionan únicamente con las muestras analizadas.

RESULTADOS

1. V-T1-S1 (B2HB)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	86-1630	Cuarzo
	$\text{K}_2(\text{Al}_{3.74}\text{Fe}_{0.26})(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH})_4$	76-668	Moscovita
	$\text{K}_{0.8}\text{Na}_{0.7}\text{Ca}_{0.7}\text{Al}_{2.8}\text{Si}_{5.1}\text{O}_{16}6\text{H}_2\text{O}$	34-542	Philipsita
	$\text{Al}(\text{OH})_3$	74-1775	Gibsita

2. V-T1-S2 (B2HC)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	85-794	Cuarzo
	$\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$	1-1098	Moscovita
	$(\text{K,Ca})_{0.8}\text{Al}_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{10}4\text{H}_2\text{O}$	46-1463	Tosudita
	$\text{Al}(\text{OH})_3$	7-324	Gibsita

3. I-T1-S1 (B2HD)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	78-1253	Cuarzo
	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	83-971	Kaolinita

4. III-T1-S2 (B2HG)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O_2	85-794	Cuarzo
	$\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$	1-1098	Moscovita
	$\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	78-1996	Kaolinita

5. VI-T1-S1 (B2HH)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	$\text{K - Mg - Fe - Al - Si - O - H}_2\text{O}$	2-227	Mica
	Si O_2	85-335	Cuarzo

6. VI-T2-S2 (B2HI)

	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	K - Mg - Fe - Al - Si - O - H ₂ O	2-227	Mica
	Si O ₂	85-794	Cuarzo

7. VI-T3-S2 (B2HN)

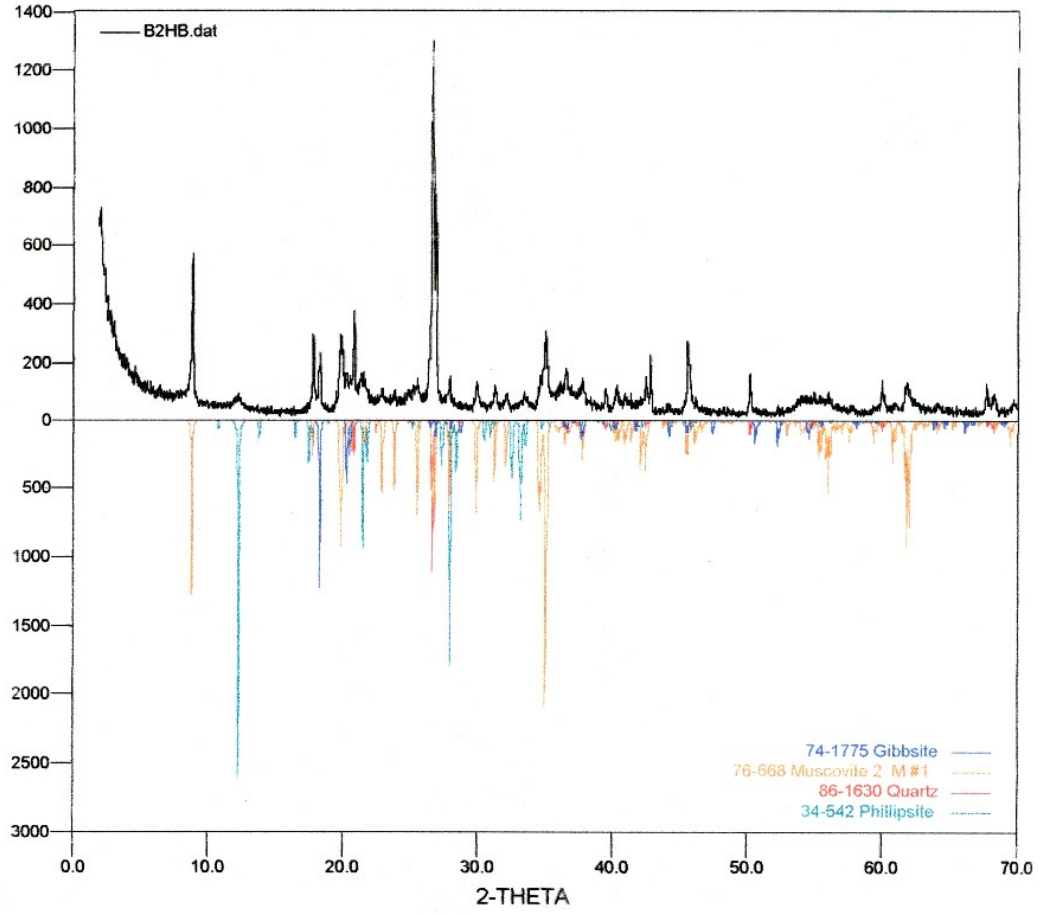
	FASE	No. TARJETA PDF-2	NOMBRE
Cristalinos	Si O ₂	79-1910	Cuarzo
	K - Mg - Fe - Al - Si - O - H ₂ O	2-227	Mica
	(K,Na)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si _{3,1} Al _{0,9})O ₁₀ (OH) ₂	7-42	Moscovita
	Al ₂ Si ₂ O ₅ (O H) ₄	3-55	Dickita
	Al ₂ O ₃ !3 H ₂ O	1-263	Gibsita

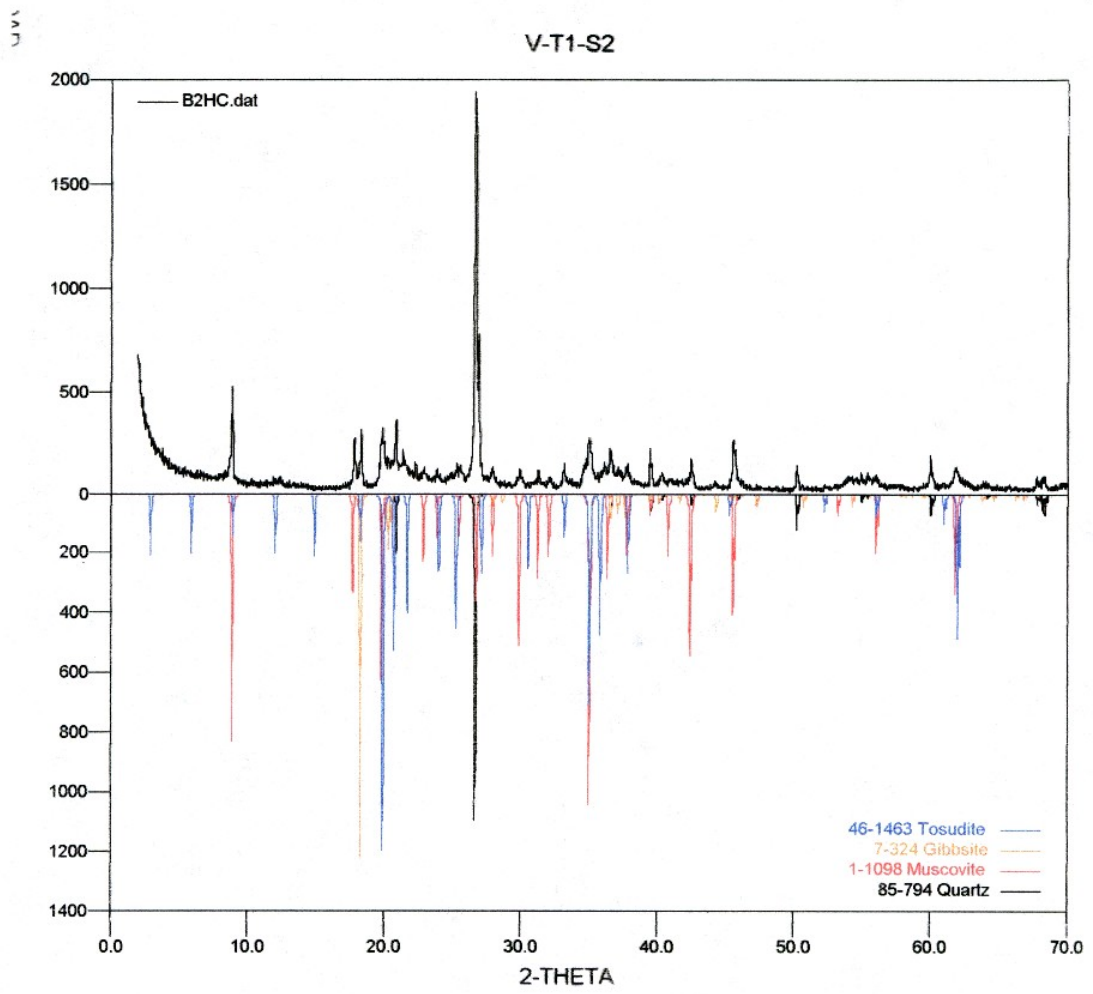
OBSERVACIÓN:

Los resultados reportados para el material corresponden a las fases que mostraron mayor coincidencia con el centro de las bandas.

JVV

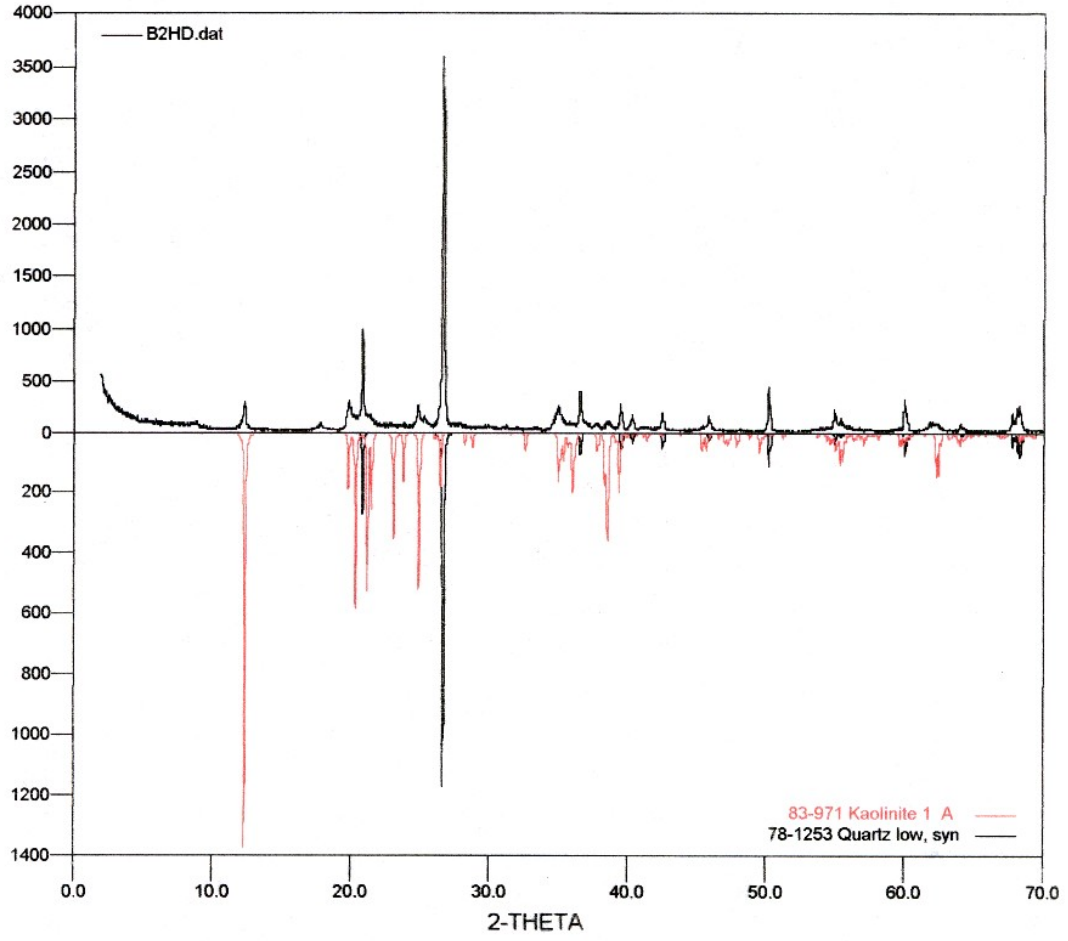
V-T1-S1





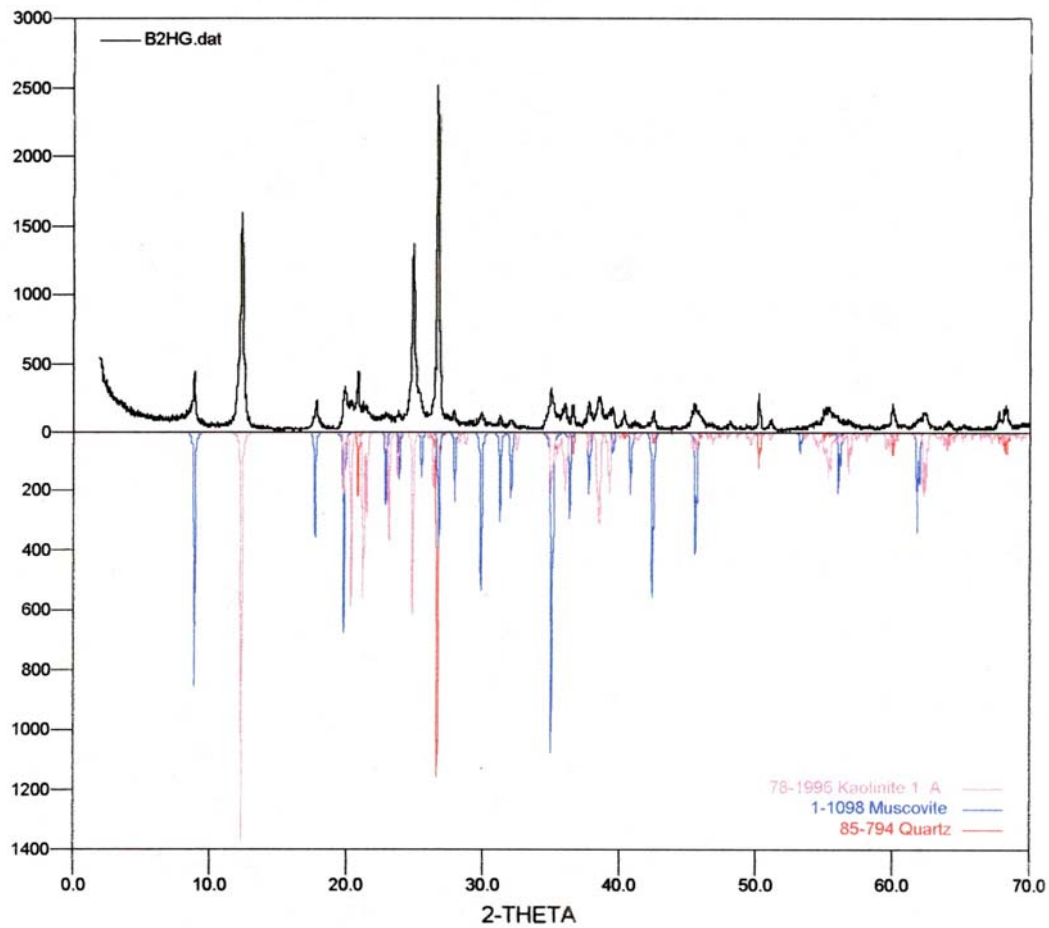
JM

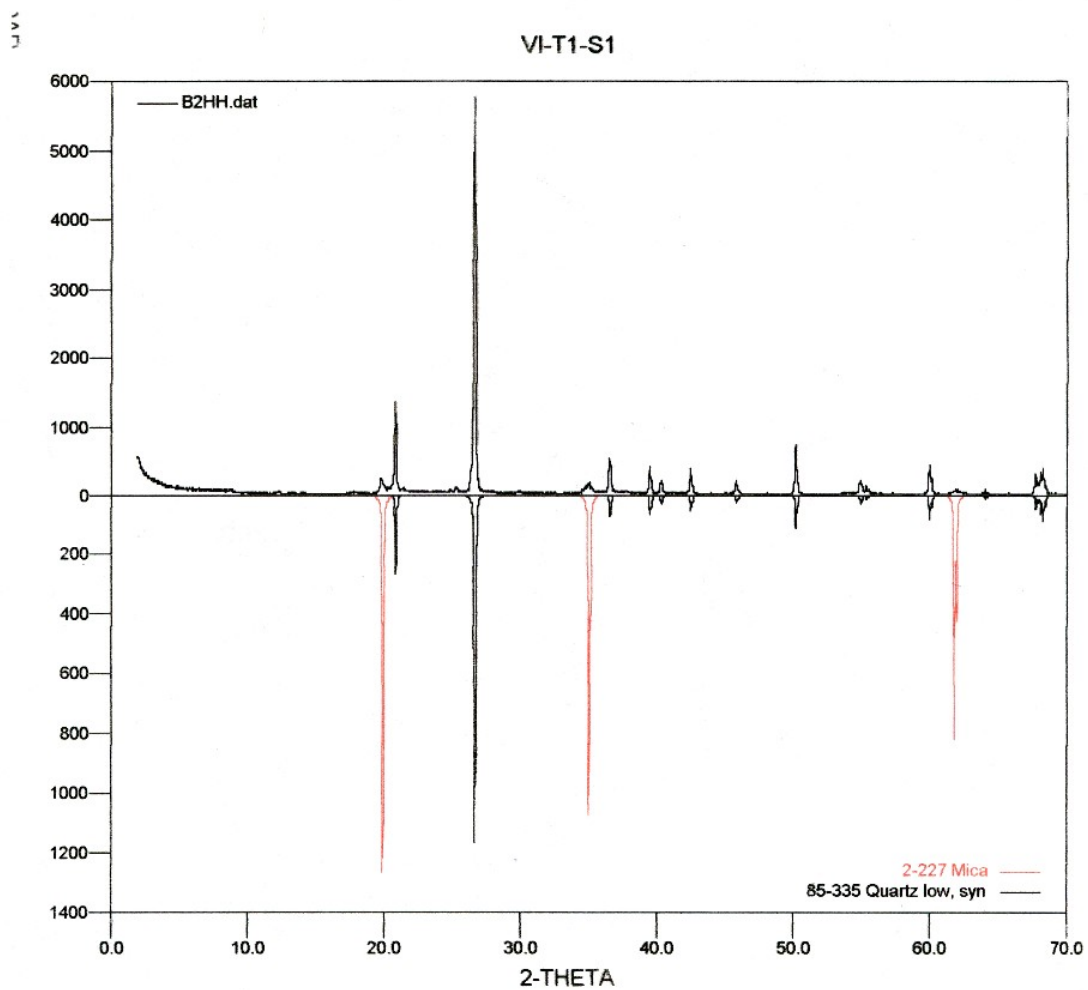
I-T1-S1



3
J

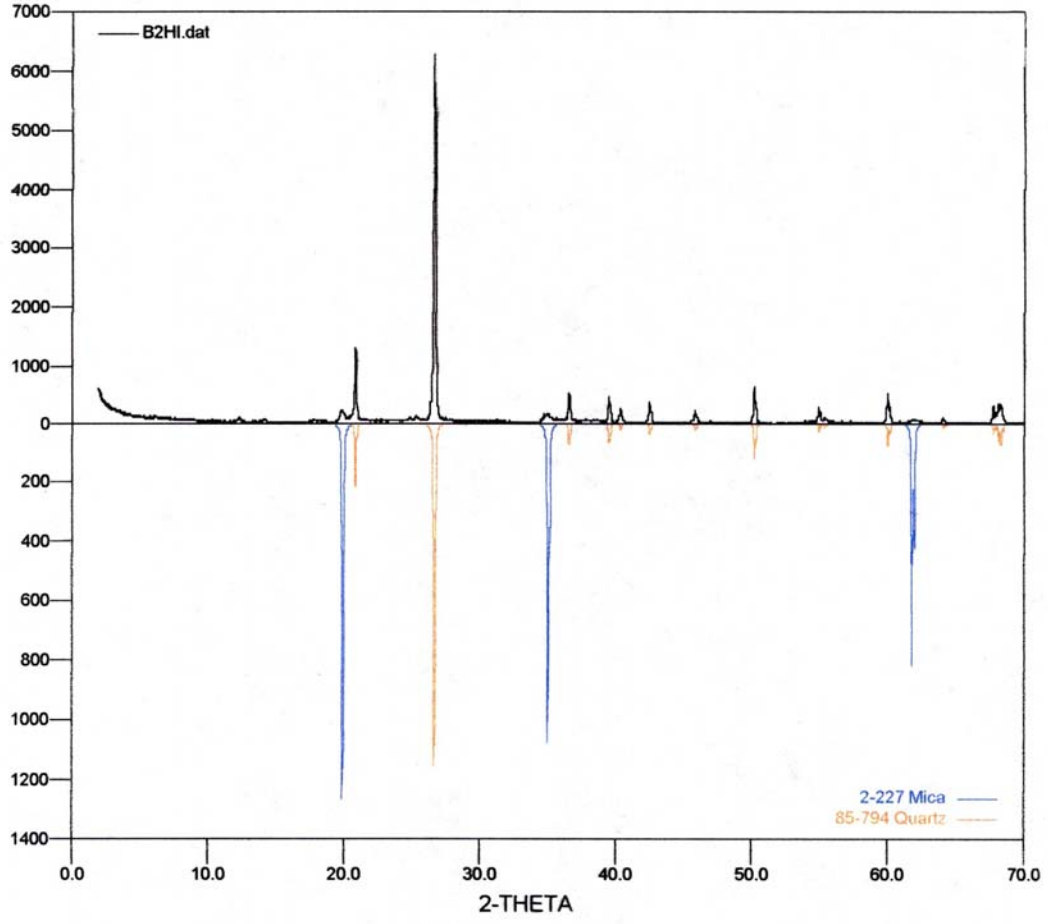
III-T1-S2





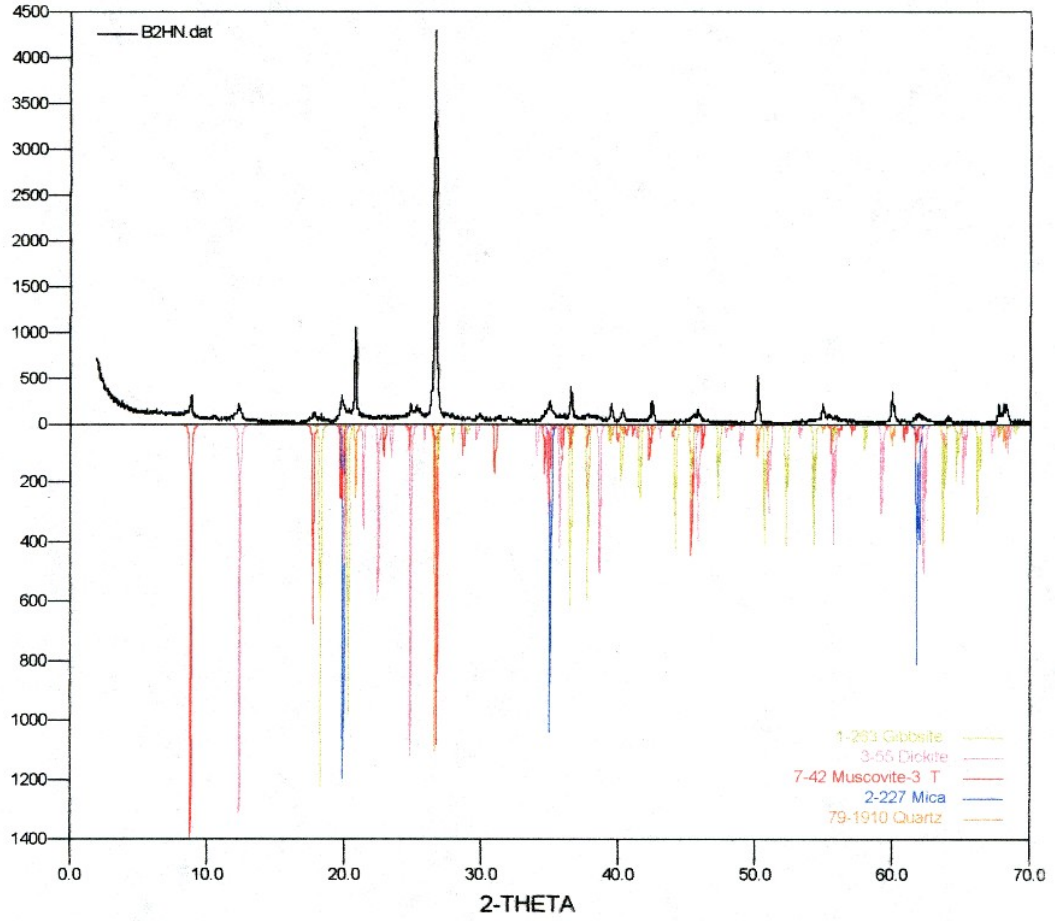
v
J

VI-T2-S2



3.1

VI-T3-S2



Anexo 8,
Tablas de Clasificación de Suelos

CLASIFICACIÓN UNIFICADA - CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

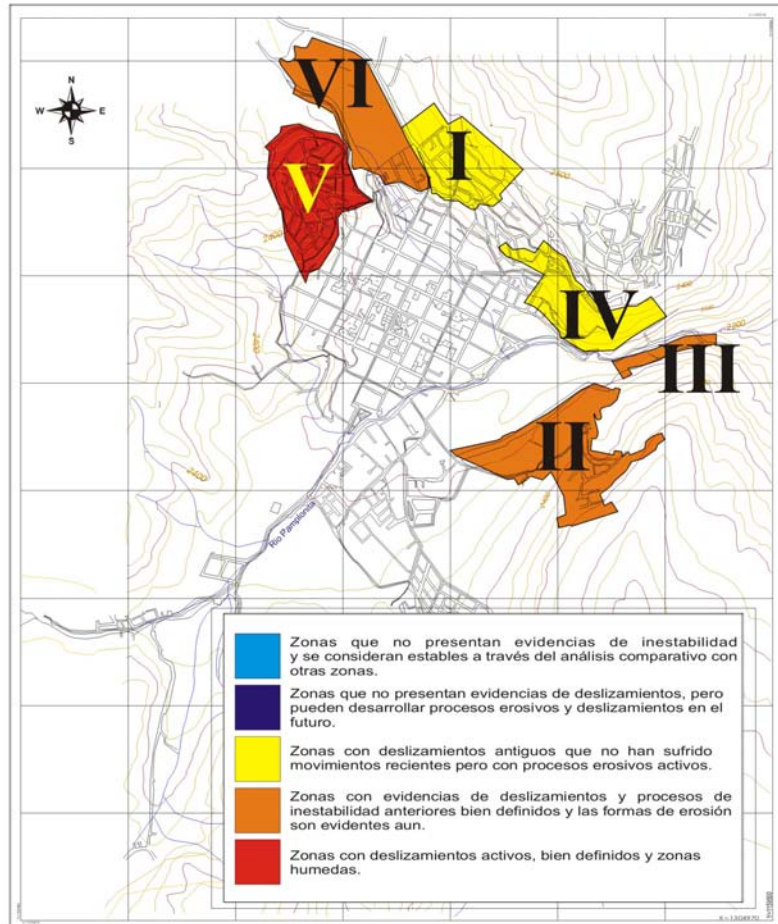
GRUPO	RELATIVAS A TERRAPLENES Y FUNDACIONES		RELATIVAS A CARRETERAS Y AEROPISTAS	
	USO PARA TERRAPLENES	CAPACIDAD DE SOPORTE	COMO FUNDACIÓN	COMO BASE DIRECTAMENTE BAJO PAVIMENTO BITUMINOSO.
G W	Muy estable. Respaldos Permeables de diques y presas.	BUENA	EXCELENTE	BUENO
G P	Razonablemente estable. Respaldos permeables de diques y presas.	BUENA	BUENO A EXCELENTE	MALO A ACEPTABLE
G M	Razonablemente estable. No recomendable para respaldos. Puede usarse para núcleos y mantos impermeable.	BUENA	BUENO A EXCELENTE	BUENO A MALO
G C	Regularmente estable. Puede usarse para núcleos impermeables.	BUENA	BUENO	MALO
S W	Muy estable. Secciones permeables. Se necesita protección para los taludes.	BUENA	BUENO	MALO
S P	Razonablemente estable. Puede usarse en secciones de diques con taludes poco inclinados.	BUENA A DEFICIENTE DEPENDIENDO DE LA DENSIDAD.	ACEPTABLE A BUENO	MALO A INACEPTABLE
S M	Regularmente estable. No recomendable para respaldos. Puede usarse para diques o núcleos impermeables.	BUENA A DEFICIENTE DEPENDIENDO DE LA DENSIDAD.	ACEPTABLE A BUENO	MALO A INACEPTABLE
S C	Regularmente estable. Usado para núcleos impermeables en estructuras para control de inundaciones.	BUENA A DEFICIENTE	ACEPTABLE A BUENO	INACEPTABLE
M L	Estabilidad deficiente. Puede usarse en terraplenes con control apropiado.	MUY DEFICIENTE SUSCEPTIBLE A LA LICUEFACCIÓN	ACEPTABLE A BUENO	INACEPTABLE
C L	Estable. Se usa en núcleos y mantos impermeables.	BUENA A DEFICIENTE	ACEPTABLE MALO	INACEPTABLE
O L	No recomendable para terraplenes.	REGULAR A MALA	MALO	INACEPTABLE
M H	Estabilidad deficiente. No deseable en construcción de rellenos compactados.	DEFICIENTE	MALO	INACEPTABLE
C H	Estabilidad regular. Con taludes poco inclinados. Se usa en núcleos delgados y en mantos.	REGULAR A DEFICIENTE	MALO A MUY MALO	INACEPTABLE
O H	No indicado para terraplenes.	MUY DEFICIENTE	MALO A MUY MALO	INACEPTABLE
P t	No se usa en construcciones.	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE

Clasificación Unificada de Suelos

DIVISIONES PRIMARIAS		SÍMBOLO	NOMBRES DESCRIPTIVOS TÍPICOS		
SUELOS GRUESO - GRANULARES	CASCAJOS	LIMPIOS (Con poco o nada de finos)	G W Cascajos bien gradado, mezclas de cascajo y arena con poco o nada de finos.		
			G P Cascajos mal gradados, mezclas de cascajo y arena, con poco o nada de finos.		
		CON FINOS (Cantidad Apreciable de finos)	G M Cascajos limosos, mezclas de cascajo, arena y limo.		
			G C Cascajos arcillosos, mezclas de cascajo, arena y arcilla.		
	ARENAS	LIMPIAS (Con poco o nada de finos)	S W Arenas bien gradadas, arenas cascajosas, con poco o nada de finos.		
			S P Arenas mal gradadas, arenas cascajosas, con poco o nada de finos.		
		CON FINOS (Cantidad Apreciable de finos)	S M Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
			S C Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		
			ARCILLAS Y LIMOS	CON LL ≤ 50%	M L Limos orgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad.
					C L Arcillas orgánicas de plasticidad baja o media, arcillas con cascajo, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
O L Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.					
CON LL > 50%	M H Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diamáceos, limos elásticos.				
	C H Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.				
	O H Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.				
Suelos Altamente Orgánicos		P t	Turba y otros suelos altamente orgánicos.		

Anexo 9,
MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE
MOVIMIENTOS DE REMOCION EN
MASA

Mapa de Susceptibilidad de Movimientos de Remoción en Masa



I - Juan XXIII
II El Progreso

III - Chíchira

IV - Tinto Redondo

V - El Buque - Sta. Marta

VI - UNIPAMPLONA

