

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES
EN EL SUBSUELO DE UN ÁREA UBICADA AL SUROESTE DE LA
POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO –
ESTADO GUÁRICO**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el TSU Yonathan González Molina
para optar al título de Ingeniero Geólogo**

Caracas, 2018

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES
EN EL SUBSUELO DE UN ÁREA UBICADA AL SUROESTE DE LA
POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO –
ESTADO GUÁRICO**

Tutor Académico: Ing. Ricardo Alezones

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el TSU Yonathan González Molina
para optar al título de Ingeniero Geólogo**

Caracas, 2018

González M. Yonathan R.

**CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES
EN EL SUBSUELO DE UN ÁREA UBICADA AL SUROESTE DE LA
POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO –
ESTADO GUÁRICO**

Tutor académico: Prof. Ricardo Alezones.

**Tesis. Caracas, Universidad Central de Venezuela. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Año 2018. N° de
pág. 123**

Palabras claves: Arcillas, Caolinita, Difracción de rayos X, El Sombrero –
Guárico (Estado), Expansión, Hinchamiento, Illita.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es caracterizar geomecánicamente las arcillas presentes en el subsuelo de un sector ubicado al suroeste de la población de El Sombrero – municipio Julián Mellado – estado Guárico, a partir de muestras recuperadas de perforaciones a percusión S.P.T. realizadas en el sitio y de los análisis cualitativos y cuantitativos como humedad natural, límites de consistencia, compresión inconfiada, corte directo, difracción de rayos x (DRX) entre otros.

La zona en estudio se caracteriza por poseer una litología sedimentaria sin buzamiento alguno, representados por cuatro unidades geomecánicas: “ARCILLA I” (0,00 - 5,00 metros de profundidad), “MATERIAL GRANULAR I” (5,00 - 10,00 metros de profundidad), “ARCILLA II” (10,00 - 13,00 metros de profundidad) y después de los 13,00 - 15,00 de profundidad “LUTITA” de la Formación Roblecito (Eoceno Superior - Oligoceno)

Se procedió a realizar el análisis de DRX teniendo como resultado una serie de minerales de arcillas (caolinita, illita, principalmente además de nicrita, dickita y halloysita en menor grado), cuarzo y goethita.

De los parámetros obtenidos en los ensayos geotécnicos se observa cierto comportamiento típico de las arcillas minerales analizadas DRX reflejadas en la literatura. Es importante destacar que los valores de límites de consistencia derivados revelan posibles propiedades expansivas de los suelos cohesivos, las cuales muestran un rango de bajo a alto potencial de hinchamiento.

INDÍCE GENERAL

INDÍCE GENERAL	V
INDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
CAPÍTULO I	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
GENERALIDADES	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.1.- INTRODUCCIÓN	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
1.2.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3.- ALCANCE	3
1.4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.5.- ANTECEDENTES	4
1.6.- JUSTIFICACIÓN	6
1.7.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
1.8.- MARCO METODOLÓGICO	9
1.8.1.- Etapa 1: Búsqueda de información.....	10
1.8.1.1.- Recopilación bibliográfica	10
1.8.1.2.- Búsqueda de materiales	10
1.8.1.3.- Recolección de materiales.....	10
1.8.2.- Etapa 2: Caracterización de las arcillas.....	11
1.8.2.1.- Ensayos de laboratorio	11
1.8.2.1.1.- Determinación del contenido de humedad natural (ASTM D2166).....	11
1.8.2.1.2.- Determinación del peso unitario por medio de la parafina (ASTM D7263-09).....	13
1.8.2.1.3.- Determinación de la gravedad específica por medio del picnómetro (ASTM D854-14)	14
1.8.2.1.4.- Análisis granulométrico por medio del método del hidrómetro (ASTM D7928-17).....	16
1.8.2.1.5.- Determinación de los límites de consistencia en suelos cohesivos (ASTM D4318-00).....	19
1.8.2.1.6.- Ensayo de compresión inconfiada en suelos cohesivos (ASTM D2166)	24
1.8.2.1.7.- Ensayo de corte directo (ASTM D3080-11)	27
1.8.2.1.8.- Ensayo de Difracción de Rayos X	32

1.8.3.- Etapa 3	33
1.8.3.1.- Integración de los Resultados de Laboratorio	33
1.8.4.- Etapa 4	33
1.8.4.1.- Trabajo de oficina	33
CAPÍTULO II	34
MARCO TEÓRICO.....	34
2.1.- SUELOS, ORIGEN Y FORMACIÓN	34
2.2.- MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS	35
2.2.1.- Factores que controlan las propiedades de las arcillas	40
2.3.- NATURALEZA DE LOS SUELOS EXPANSIVOS.....	40
2.4.- NATURALEZA DE LOS RAYOS X	40
2.5.- LUTITA.....	41
2.6.- DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS BÁSICAS DE LOS SUELOS	43
2.6.1.- Humedad natural ($w\%$)	43
2.6.2.- Densidad de los sólidos (Gs)	43
2.6.3.- Distribución granulométrica	43
2.6.3.1.- Análisis granulométrico por tamizado	44
2.6.3.2.- Análisis granulométrico por hidrómetro	44
2.6.4.- Límites del tamaño para suelos	45
2.6.5.- Densidad o Peso unitario.....	45
2.6.6.- Límites de consistencia	46
2.6.7.- Actividad (A)	47
2.6.8.- Superficie específica (Se)	48
2.6.9.- Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	49
2.7.- DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS AVANZADAS DE LOS SUELOS	51
2.7.1.- Definición de términos mecánicos básicos	52
2.7.1.1.- Fuerza (F)	52
2.7.1.2.- Esfuerzo o Tensión (σ).....	52
2.7.1.3.- Estado Tensional.....	52
2.7.1.4.- Resistencia	53
2.7.1.5.- Rotura.....	53
2.7.1.6.- Fractura	53
2.7.1.7.- Cohesión (C).....	53
2.7.1.8.- Ángulo de fricción interna, ϕ	54
2.7.1.9.- Deformabilidad.....	55
2.7.2.- Clasificación según el estado físico de una roca	55

CAPÍTULO III	57
MARCO GEOLÓGICO	57
3.1.- GENERALIDADES.....	57
3.1.1.- Historia geológica de la región	58
3.1.2.- Historia evolutiva de la cuenca oriental de Venezuela.....	59
3.1.2.1.- Resumen esquemático del proceso evolutivo de la cuenca	60
3.1.2.2.- Análisis del proceso sedimentario	64
3.2.- GEOLOGÍA REGIONAL	66
3.2.1.- Estratigrafía regional.....	66
3.2.1.1.- Formación Roblecito	66
3.2.1.2.- Sedimentos recientes (Aluvion del cuaternario)	68
3.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	68
3.4.- ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	69
3.5.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	69
CAPÍTULO IV	70
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	70
4.1.- GENERALIDADES.....	70
4.2.- GEOLOGÍA LOCAL.....	70
4.3.- CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA.....	72
4.3.1.- DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX).....	72
4.3.1.1.- Perforación BH – 3 muestra 12.....	75
4.3.1.2.- Perforación BH – 8 muestra 14.....	76
4.3.1.3.- Perforación BH – 10 muestra 18.....	77
4.3.1.4.- Perforación BH – 11 muestra 20.....	78
4.3.1.5.- Perforación BH – 12 muestra 14.....	79
4.3.1.6.- Perforación BH – 13 muestra 17.....	80
4.3.1.7.- Perforación BH – 14 muestra 14.....	81
4.3.1.8.- Perforación BH – 15 muestra 4.....	82
4.3.1.9.- Perforación BH – 16 muestra 3.....	83
4.3.1.10.- Perforación BH – 17 muestra 3.....	84
4.3.1.11.- Perforación BH – 19 muestra 5.....	85
4.3.1.12.- Perforación BH – 21 muestra 11.....	86
4.3.1.13.- Perforación BH – 22 muestra 14.....	87
4.3.1.14.- Perforación BH – 25 muestra 13.....	88
4.3.1.15.- Perforación BH – 26 muestra 8.....	89
4.3.1.16.- Perforación BH – 27 muestra 5.....	90

4.3.1.17.- Perforación BH – 30 muestra 3.....	91
4.3.1.18.- Perforación BH – 32 muestra 9.....	92
4.3.1.19.- Perforación BH – 34 muestra 19.....	93
4.4.- ENSAYOS GEOMECÁNICOS	95
4.4.1.- Generalidades	95
4.4.2.- Contenido de humedad natural (ASTM D2166).....	96
4.4.3.- Densidad por medio del método de la parafina (ASTM D7263-09).....	97
4.4.4.- Gravedad específica o Peso específico por medio del método del picnómetro (Gs) (ASTM D854-14))	99
4.4.5.- Análisis granulométrico por medio del método Hidrómetro de Bouyoucos (ASTM D 7928-17)	99
4.4.6.- Límites de consistencia o de Atterberg (ASTM D 4318-17)...	100
4.4.7.- Compresión inconfiada en suelos cohesivos (ASTM D2166).....	107
4.4.8.- Corte directo (ASTM D3080)	113
CAPÍTULO V	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
5.1.- CONCLUSIONES	115
5.2.- RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización	8
Figura 2. Muestras seleccionadas para realizar el ensayo de humedad natural	11
Figura 3. Picnómetro con la muestra de suelo para la determinación de la Densidad de los sólidos	15
Figura 4. Cilindro de sedimentación con la muestra y el Hidrómetro 152H o densímetro para la determinación del tamaño de grano en suelos finos	17
Figura 5. Cuchara de Casagrande	20
Figura 6. Carta de Plasticidad de Casagrande	21
Figura 7. Cilindro agrietado para la determinación del porcentaje de límite plástico	24
Figura 8. Equipo para ensayo de compresión simple	25
Figura 9. Equipo para ensayo de corte directo	28
Figura 10. Determinación de los parámetros de resistencia cortante	31
Figura 11. Equipo para la determinación cualitativa mineralógica por medio de la Difracción de Rayos X (DRX) de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV	32
Figura 12. Vista microscópica de una partícula de arcilla Caolinita ...	36
Figura 13. Diagrama esquemático de la estructura de la capa de Caolinita	37
Figura 14. Vista microscópica de una partícula de Montmorillonita ...	38
Figura 15. Diagrama esquemático de la estructura de la Montmorillonita	38
Figura 16. Vista microscópica de una partícula de Illita	39
Figura 17. Diagrama esquemático de la estructura de la Illita	39
Figura 18. Espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda	41
Figura 19. Granulometría de las partículas	44
Figura 20. Definición de los Límites de Atterberg	46
Figura 21. Ubicación de las arcillas minerales más comunes en la Carta de Plasticidad de Casagrande	47
Figura 22. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Basado en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg	50
Figura 23. Influencia de la mineralogía en la resistencia	54

Figura 24. Escenario tectónico de la Cuenca Oriental de Venezuela, tipo ante - país, formada como el resultado de la colisión oblicua durante entre las placas Caribe y norte de Sur América.....	59
Figura 25. Cuencas Sedimentarias de Venezuela.....	59
Figura 26. Paleogeografía del Eoceno superior en Venezuela Oriental	65
Figura 27. Cuadro de nombres y correlaciones de las unidades litoestratigráficas del Oligoceno Medio en el frente de las montañas de Guárico.....	66
Figura 28. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 3, muestra 12.....	75
Figura 29. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 8, muestra 14.....	76
Figura 30. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 10, muestra 18.....	77
Figura 31. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 11, muestra 20.....	78
Figura 32. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 12, muestra 14.....	79
Figura 33. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 13, muestra 17	80
Figura 34. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 14, muestra 14.....	81
Figura 35. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 15, muestra 4.....	82
Figura 36. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 16, muestra 3.....	83
Figura 37. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 17, muestra 3.....	84
Figura 38. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 19, muestra 5.....	85
Figura 39. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 21, muestra 11.....	86
Figura 40. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 22, muestra 14.....	87
Figura 41. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 25, muestra 13.....	88

Figura 42. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 26, muestra 8.....	89
Figura 43. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 27, muestra 5.....	90
Figura 44. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 30, muestra 3.....	91
Figura 45. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 32, muestra 9.....	92
Figura 46. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 34, muestra 19.....	93
Figura 47. Gráfico de barras en donde muestra la cantidad de minerales presentes en las muestras analizadas	94
Figura 48. Gráfico de barras en donde muestra la cantidad de minerales presentes en las muestras analizadas	95
Figura 49. Gráfico contenido de humedad natural versus profundidad, la cual, se observa las ligeras variaciones de acuerdo con el tipo de estrato litológico.....	97
Figura 50. Gráfico Peso unitario seco versus profundidad, la cual, se observa las ligeras variaciones de acuerdo con la profundidad y tipo litológico	99
Figura 51. Gráfico propuesto por Seed, Woodward y Lundgren (1962) para una identificación cualitativa del grado de expansión los suelos tomando en cuenta el porcentaje de tamaño tipo arcilla y la actividad	100
Figura 52. Carta de Plasticidad de Casagrande en donde se observan los resultados generales obtenidos del ensayo de límite de consistencia	101
Figura 53. Gráfica Límites de Consistencia versus profundidad	103
Figura 54. Carta de plasticidad para la identificación cualitativa del grado de expansión los suelos.....	104
Figura 55. Gráfico propuesto por Da Nilov (1965) para una identificación cualitativa del grado de expansión los suelos	105
Figura 56. Gráfico propuesto por Williams (1957) para una identificación cualitativa del grado de expansión los suelos tomando en cuenta el porcentaje de tamaño tipo arcilla y el índice plástico.....	106
Figura 57. Gráfico peso unitario de las muestras sometidas al ensayo de compresión inconfiada versus profundidad en donde	

se observan los límites máximo y mínimo con el valor promedio de los resultados obtenidos	107
Figura 58. Gráfico Resistencia a la compresión (q_u) versus profundidad en donde se observa una disminución de la presión máxima de rotura a medida que aumenta la profundidad del sondeo	108
Figura 59. Gráfico de golpes S.P.T. versus Máxima resistencia a la compresión (q_u), en la cual, muestra la correlación matemática entre ambos parámetros geomecánicos.....	109
Figura 60. Gráfico Módulo de Elasticidad (E) versus profundidad en donde se observa una disminución a medida que aumenta la profundidad de la perforación	110
Figura 61. Gráfico Máxima resistencia (q_u) versus Módulo de Elasticidad (E), en la cual, se muestra la correlación existente entre ambos parámetros geomecánicos.....	111
Figura 62. Gráfico Máxima resistencia (q_u) versus Módulo de Elasticidad (E), en la cual, se muestra la correlación existente entre ambos parámetros geomecánicos.....	111
Figura 63. Gráfico de golpes S.P.T. versus Módulo de elasticidad (E), en la cual, muestra la correlación matemática entre ambos parámetros geomecánicos.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas y profundidad (m) de los puntos de muestreo.....	9
Tabla 2. Tasas de deformación recomendadas de acuerdo con la litología de acuerdo a la ASTM D3080	30
Tabla 3. Límites de tamaño de suelos separados	45
Tabla 4. Superficie específica teórica para distintas geometrías	48
Tabla 5. Clasificación según el estado físico de la roca.....	56
Tabla 6. Muestras analizadas mediante la técnica de DRX.....	73
Tabla 7. Cuadro resumen de los minerales encontrados mediante la técnica de Difracción de Rayos – X (DRX).....	74
Tabla 8. Cuadro resumen muestra seleccionadas para el ensayo de corte directo	113

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1.- INTRODUCCIÓN

El presente trabajo especial de grado se enmarca en la caracterización geomecánica con base a muestras de arcilla obtenidas de una serie de perforaciones realizadas en un área ubicada al suroeste de la población de El Sombrero – municipio Julián Mellado – estado Guárico.

En la primera parte se presentarán diversos temas generales tales como la ubicación del sitio en estudio, trabajos previos relacionados y realizados en dicho sector, alcance y justificación de la investigación.

La segunda parte abarcó las diversas definiciones de los aspectos inherentes a esta investigación; tanto geográficas como geológicas y geomecánicas de las arcillas presentes en el subsuelo del área de estudio, para así tener un mejor conocimiento de sus propiedades ingenieriles y las relacionadas con las ciencias de la tierra.

Siguiendo con la anterior, se complementó esta investigación con la realización de diversos ensayos geotécnicos y mineralógicos de laboratorio. Aquí se profundizarán y se valorarán los parámetros de resistencia al corte y otros datos adicionales.

En la tercera parte se explicaron los aspectos relacionados con el marco geológico de la zona en estudio, las cuales abarcarán diversos tópicos tales como la geología regional y estructural, estratigrafía regional, geomorfología del sitio y zonificación sísmica.

Además, en la cuarta parte se especificaron los diversos protocolos a seguir para realizar los ensayos de laboratorio con el fin de caracterizar

cualitativa y cuantitativamente las muestras que sustentan esta investigación.

Por último, se llevaron a cabo la redacción de las conclusiones y recomendaciones referentes a este trabajo especial de grado

1.2.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1.- Objetivo General

Caracterizar geomecánicamente las arcillas presentes en el subsuelo de un sector ubicado al suroeste de la población de El Sombrero – municipio Julián Mellado – estado Guárico

1.2.2.- Objetivos Específicos

- . - Integrar la información geológica y geotécnica procedente de investigaciones previas con la finalidad de tener un conocimiento previo acerca de las propiedades geomecánicas de las arcillas.
- . - Describir y caracterizar mineralógicamente mediante la técnica de difracción de rayos – X las muestra obtenidas de los diversos sondeos exploratorios ejecutados en la zona de estudio con el fin de identificar los minerales presentes.
- . - Definir las propiedades geomecánicas de las muestras obtenidas en la zona de estudio por medio de diversos ensayos estipulados por la *American Standards Testing of Materials (ASTM)*
- . - Generar un modelo geomecánico de la zona en estudio a partir de la construcción de un mapa y posteriores perfiles geotécnicos respectivamente, basado en los datos de las perforaciones y los ensayos realizados sobre las muestras obtenidas.

. - Desarrollar un modelo matemático del comportamiento geomecánico de las arcillas presentes en el área de estudio mediante el uso de diversas herramientas como *Microsoft Excel*, entre otros.

1.3.- ALCANCE

La investigación estará centrada en la caracterización geológica y geomecánica de las arcillas presentes en el subsuelo de un sector ubicado al suroeste de la población de El Sombrero – estado Guárico a partir de la difracción de rayos – X, descripción visual, humedad natural, granulometría por tamizado e hidrómetro, límites de consistencia y de contracción, peso unitario por medio de la parafina, peso específico por medio del picnómetro, compresión inconfiada, corte directo; todos ellos con la finalidad de elaborar un modelo geomecánico del área de estudio, la cual permita obtener información de interés del subsuelo para diversos fines tales como investigación, ingeniería de fundaciones para obras civiles y como posible fuente de materiales para la construcción entre otros.

1.4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos arcillosos expansivos al estar sometidos a procesos de secado y humedecimiento tienden a contraerse y expandirse respectivamente. Una vez que se humedecen tienden a aumentar su volumen debido a la presencia de minerales de arcilla. Este tipo de sedimentos cohesivos son más frecuentes de lo que se piensa y su determinación y ubicación redundará en beneficios para el diseño y construcción de obras civiles.

Chen (1975), menciona los principales países que padecen diversos problemas producto del hinchamiento de los suelos expansivos. Menciona naciones como Australia, Canadá, India, Israel, México, Sudáfrica, España, y Venezuela.

De esta manera, Ugas (1981) ejemplifica algunos de los casos más representativos de la geografía nacional en donde las arcillas expansivas han producido severos daños en las obras civiles. Localidades como Coro, Barcelona, Barquisimeto, San Cristóbal y varias zonas de Guárico se encuentran como las principales zonas en donde se da este fenómeno.

Esta investigación tiene por finalidad realizar una caracterización geomecánica de las arcillas presentes en el subsuelo de un sector ubicado al suroeste de la población de El Sombrero – municipio Julián Mellado – estado Guárico, con el fin de determinar las diversas propiedades de los ejemplares de seleccionados, que aporten información para servir de sustento o de complemento para futuras investigaciones, obras civiles y fuente de materiales para la construcción.

Es importante destacar que se tienen los registros de 34 sondeos exploratorios de perforación a percusión con el ensayo de campo S.P.T. (*Standard Penetration Test*) ejecutados en la zona de estudio, las cuales fueron realizadas para la obtención de datos y el posterior cálculo de fundaciones directas de edificaciones. Es por ello que esta información proveniente de las mencionadas perforaciones será de soporte para la caracterización geomecánica de las arcillas en sitio.

1.5.- ANTECEDENTES

. - **PATTERSON, J. y WILSON J. (1953).** En su publicación introdujeron el término de “Formación Roblecito” a un conjunto de lutitas marinas de color gris oscuro a negro presentes en el subsuelo de los llanos centrales venezolanos, cuya localidad tipo se encuentra en el campo petrolífero de Las Mercedes – estado Guárico.

. - **BELL, J. (1968).** Por medio de análisis micropaleontológicos de foraminíferos, ubica la Formación Roblecito de edad Eoceno Tardío a Oligoceno – Mioceno. Menciona a su vez que dicha unidad estratigráfica en la zona de estudio se encuentra estructuralmente en forma de pliegues

anticlinales de poco buzamiento en sus flancos; entre ellos el más importante el Anticlinal de Barbacoas.

. - **CHEN, F. (1975)**. Menciona los principales países que padecen diversos problemas producto del hinchamiento de los suelos expansivos.

. - **HURLBUT, C. (1976)** Define a las arcillas como un término petrográfico y como la mayoría de los elementos terrestres; está constituida por un cierto de diferentes minerales en múltiples proporciones.

.- **UGAS, C. (1982)** Menciona a varias zonas del estado Guárico con que presentan suelos expansivos.

. - **ARIAS, I. (2004)**. Elaboró una serie de análisis mineralógicos por medio de la técnica de Difracción de rayos - X sobre muestras de arcillas superficiales marinas provenientes de la fachada atlántica venezolana.

. - **MORALES, A. y VILORIA, J. (2005)**. Realizan un estudio generalizado para poder predecir desde el punto de vista macro, las diversas propiedades del suelo a partir de la información ambiental disponible, la cual, tiene como propósito investigar si existen relaciones cuantitativas entre características del suelo y las formaciones geológicas que afloran en esta región, que permitan utilizar mapas geológicos para predecir cualitativamente y cuantitativamente el comportamiento de dichos sedimentos presentes en la zona.

. - **BERNAL O. y CHEIK J. (2011)**. Realizaron un estudio geológico, geotécnico y petrográfico para caracterizar muestras de rocas y suelos provenientes de diversos sondeos ejecutados a lo largo de la futura vía férrea, entre las poblaciones de Tejerías (estado Aragua) y Cúa (estado Miranda)

. - **RAMÍREZ, G. (2011)**. Desarrolla un estudio geoeléctrico con fines de prospección de agua subterránea por medio de métodos eléctricos, en

modalidad de sondeo eléctrico vertical (SEV) con la finalidad de evaluar la posibilidad de proveer agua a la estación de control Satelital Simón Bolívar que, la cual, se encuentra al noreste de la población de El Sombrero - estado Guárico. Con la información derivada de estos sondeos, se generaron mapas de isorresistividades y se determinó que las lutitas en el sitio corresponden a la de la Formación Roblecito

. - **ROMERO J. (2011)**. Realizó un estudio geológico - geotécnico con base a núcleos de roca tipo limolita obtenidos en las perforaciones del III Puente Sobre el Río Orinoco, a fin de evaluar la naturaleza del sustrato encontrado. Se realizaron ensayos y con ellos se generó un mapa y, por ende; un perfil geomecánico de la zona.

. - **RIVADENEYRA, E. (2014)** En su trabajo especial de grado realizado en las inmediaciones de la Cantera La Cabrera, ubicada en el municipio Tomás Lander – estado Miranda; menciona entre otras cosas la importancia de la arcilla y su calidad como materia prima para la fabricación de cemento. La fabricación de dicho material para la construcción requiere del cálculo de reserva de arcillas disponible y su proyección de explotación.

1.6.- JUSTIFICACIÓN

Esta investigación permitió determinar las propiedades geológicas y el comportamiento geomecánico de las arcillas encontradas en el subsuelo del área en estudio, para así definir los parámetros más adecuados que puedan servir como fuente de información para diversas aplicaciones, tales como: futuras investigaciones y para la construcción de obras civiles en dicha zona.

Como parte del estudio, se recopiló y/o generó información geológica - geomecánica, lo cual, se realizará a partir de la caracterización de muestras obtenidas de perforaciones realizadas en el sitio. De allí se obtendrá información de la composición y condiciones físicas de los sedimentos

presentes para finalmente caracterizar las arcillas derivadas de las lutitas de la Formación Roblecito ubicadas en Guárico Occidental.

Esta investigación aportó información detallada en cuanto al comportamiento geomecánico de los materiales arcillosos en la zona y servir de comparación a otros tanto a nivel nacional e internacional.

1.7.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada al suroeste de la población de El Sombrero, Municipio Julián Mellado, estado Guárico; entre la confluencia de los ríos Guárico y Paya. Esto puede ser apreciado en la figura 1.

Es importante destacar que la base topográfica de la zona en estudio corresponde a la hoja El Sombrero 6744 a escala 1:100000 del IGVSB respectivamente.

Así mismo, su contraparte geológica está representada por la hoja San Juan de Los Morros NC – 19 – 11 del Mapa Geológico Estructural de Venezuela a escala 1:500000.

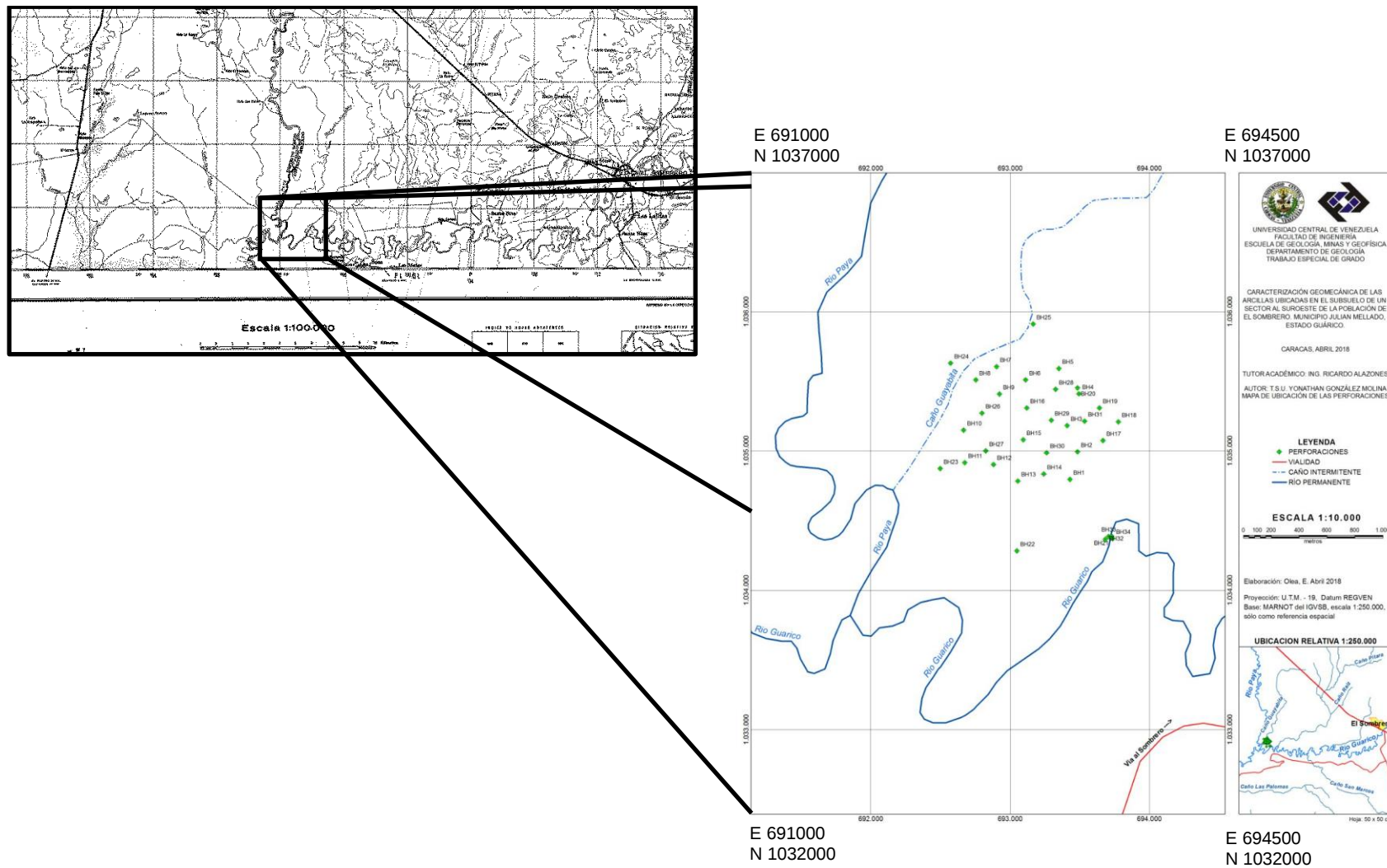


Figura 1. Mapa de localización

En la Tabla 1 se presenta la ubicación de los 34 puntos de muestreo indicando su profundidad, cota de perforación (en msnm) y sistema de coordenadas U.T.M. (*Universal Transverse Mercator*) respectivas.

Tabla 1. Coordenadas y profundidad (m) de los puntos de muestreo

Punto	Este	Norte	Cota (msnm)	Profundidad (m)	Punto	Este	Norte	Cota (msnm)	Profundidad (m)
BH1	693430	1034798	118,49	20,00	BH18	693778	1035211	118,70	20,00
BH2	693485	1034995	118,15	20,00	BH19	693642	1035310	118,64	20,00
BH3	693411	1035183	118,72	20,00	BH20	693484	1035454	118,29	20,00
BH4	693495	1035412	118,33	20,00	BH21	693709	1034388	113,58	20,00
BH5	693351	1035593	118,92	20,00	BH22	693050	1034285	118,05	20,00
BH6	693113	1035511	117,78	20,00	BH23	692500	1034875	116,80	20,00
BH7	692904	1035606	117,78	20,00	BH24	692575	1035632	117,77	20,00
BH8	692755	1035511	117,65	20,00	BH25	693167	1035913	119,60	20,00
BH9	692925	1035410	118,57	20,00	BH26	692800	1035273	119,13	20,00
BH10	692668	1035151	118,44	23,00	BH27	692826	1035002	117,49	20,00
BH11	692676	1034918	117,06	23,00	BH28	693327	1035444	118,18	20,00
BH12	692882	1034905	118,11	23,00	BH29	693297	1035222	118,14	20,00
BH13	693056	1034786	118,57	20,00	BH30	693263	1034988	118,25	20,00
BH14	693242	1034836	117,65	20,00	BH31	693535	1035215	118,18	20,00
BH15	693095	1035082	119,33	20,00	BH32	693685	1034368	118,91	20,00
BH16	693121	1035310	118,42	20,00	BH33	693731	1034389	114,31	20,00
BH17	693667	1035076	118,52	20,00	BH34	693737	1034373	114,88	20,00

1.8.- MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se presenta la metodología que se siguió para poder cumplir con los objetivos planteados en la investigación. Dicho esquema metodológico se estableció de manera que se efectuaran todas las etapas correspondientes a la integración de la información geomecánica del presente trabajo y que a continuación se muestran de la siguiente manera:

1.8.1 Etapa 1: Búsqueda de información

Consiste entre otras cosas, en la búsqueda de información que pueda servir de base o fuente inicial para la obtención de datos preliminares.

1.8.1.1 Recopilación Bibliográfica:

Recopilación de información existente y pertinente a la geología regional y local de la zona de estudio, ubicada al suroeste de la población de El Sombrero – municipio Julián Mellado – estado Guárico. Información recopilada en la Biblioteca Dr. Virgil Winkler de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Facultad de Ingeniería UCV, Código Geológico de Venezuela, Boletines Geológicos, trabajos especiales de grados previos, Investigaciones geotécnicas particulares, entrevistas, etc.

1.8.1.2 Búsqueda de materiales:

Se tiene como fuente primaria mapas topográficos y geológico a escalas 1:100.000 (Carta 6744 El Sombrero) y 1:500.000 (Hoja San Juan de Los Morros NC - 19 - II) respectivamente de la región de El Sombrero, estado Guárico.

1.8.1.3 Recolección de muestras:

Consiste en la visita de campo a la zona suroeste de la población de El Sombrero – estado Guárico con la subsecuente recolección de un aproximado de 680 muestras de 34 perforaciones a percusión S.P.T., cuyas profundidades oscilan entre los 20 y 23 metros; aptas para los diversos ensayos de caracterización geomecánica.

La característica principal que deben poseer las muestras para el estudio es que sean de tipología arcillosa. Los suelos de textura granular (arenas y gravas) no serán tomadas en cuenta para esta investigación.

1.8.2 Etapa 2: Caracterización de las arcillas

1.8.2.1 Ensayos de Laboratorio

Una vez culminada la etapa de campo, se procederá a realizar los ensayos geomecánicos de laboratorio de acuerdo con los estándares de la ASTM y del *United States Geological Services* (USGS) sobre las muestras seleccionadas, a fin de conocer sus diversas propiedades.

1.8.2.1.1.- *Determinación del contenido de humedad natural (ASTM D2166)*

Das (2001), define este parámetro como la relación entre el peso de agua en la muestra (W_w) y el peso de la muestra secada al horno (W_s) a una temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas o hasta que no se registre variación de la masa. Dicho proceso de secado evapora tanto el agua libre como el agua absorbida en los poros; el agua químicamente ligada (agua estructural) permanece en los minerales que constituyen la muestra. El contenido de humedad suele expresarse en porcentaje (Ver figura 2)



Figura 2. Muestras seleccionadas para realizar el ensayo de humedad natural.

Instrumentos y equipos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza electrónica con apreciación de 0,01g
- Misceláneos recipientes metálicos, pinzas de metal.

Procedimiento:

- Determinar masa del recipiente metálico limpio y seco (t)
- Determinar masa del recipiente con la muestra ($W_h + t$)
- Introducir la muestra a analizar en el horno a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$ durante 24 horas o hasta que no haya más variación de su masa.
- Retírese la muestra del horno, proceder a determinar la masa seca ($W_s + t$)

Cálculos y Resultados:

- Restar el valor de la masa seca y húmeda
- Determinar el contenido de humedad natural, expresado en porcentaje de la siguiente manera:

$$\omega(\%) = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

W_w = Contenido de agua, en gramos

W_s = Masa del suelo seco, en gramos

1.8.2.1.2.- Determinación del peso unitario por medio de la parafina (ASTM D7263-09)

Es el peso por unidad de volumen de una muestra. Si incluye la humedad natural, se habla de peso unitario total, mientras que, si considera sólo el peso por unidad de volumen de la fase sólida, se habla de peso unitario seco. El peso unitario de una muestra se obtiene a partir de valores medidos en el laboratorio o de valores calculados a partir de relaciones gravimétricas y volumétricas.

Instrumentos y equipos:

- Balanza electrónica con apreciación de 0,01g
- Fuente de calor para derretir la parafina dentro de un recipiente de metal lo suficientemente grande, se recomienda una cocina eléctrica
- Misceláneos pinzas de metal, recipiente de plástico, bureta.

Procedimiento:

- Determinar masa del suelo natural, es importante conocer el contenido de humedad inicial de la muestra a analizar.
- Proceder a cubrirlo completamente con la parafina derretida, luego determínese su masa.
- Con el recipiente de plástico lleno de agua, proceder a introducir la muestra, la cantidad desplazada de agua es deberá ser recogida en la bureta. El contenido de líquido recolectado es el equivalente al volumen del espécimen (Principio de Arquímedes)

Cálculos y Resultados:

- Determinar la densidad húmeda o peso unitario total (γ_h) bajo la siguiente fórmula:

$$\gamma_h = \frac{M}{V} \text{ (Ec. 2)}$$

Dónde:

M = Masa del espécimen, en gramos

V = Volumen del espécimen, en centímetros cúbicos

- Con el contenido de humedad inicial, determinar la densidad seca o peso unitario seco (γ_d) bajo la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{\left(1 + \frac{w\%}{100}\right)} \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

γ_h = Peso unitario seco, en g/cm³

$w\%$ = Contenido de humedad, en porcentaje

1.8.2.1.3.- Determinación de la gravedad específica por medio del picnómetro (ASTM D854-14)

También conocido como densidad de los sólidos, Das (2001) explica que este parámetro se usa en varios cálculos de la mecánica de los suelos. Es determinada por medio del método del picnómetro (ver figura 3), la cual, tomo como referencia la medida del volumen de agua desplazado por sus partículas sólidas. Es influenciado por el contenido mineralógico presente en la muestra, las cuales rondan valores generalmente comprendidos entre 2,60 a 2,90. Es un valor auxiliar para el cálculo otras propiedades geotécnicas de los sedimentos tales como saturación, porosidad, relación de vacíos y la velocidad de caída de una partícula en el seno de un fluido viscoso (hidrómetro) entre otros.



Figura 3. Picnómetro con la muestra de suelo para la determinación de la Densidad de los sólidos.

Instrumentos y equipos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza electrónica con apreciación de 0,01g
- Picnómetro de 250 ml, debe estar calibrado antes del ensayo.
- Fuente de calor para hervir el contenido del picnómetro, se recomienda una cocina eléctrica.
- Termómetro con apreciación de 0,1 $^{\circ}\text{C}$.
- Tamiz No. 10 con su fondo.
- Misceláneos pinzas y recipiente de metal, recipiente de plástico, cocina eléctrica, agua destilada, mortero de porcelana con su mazo

Procedimiento:

- Se empleará una muestra representativa secada al horno del material que pasa por el tamiz No. 10.

- Se procede a introducir de 100 - 120 gramos (suelos granulares) o 50 - 60 gramos (suelos cohesivos) de muestra en el picnómetro debidamente calibrado (W_s)
- Se inunda la muestra con agua destilada llenándola hasta la mitad del picnómetro. Dejar reposando la muestra de un día para otro.
- Se remueve el aire atrapado en el suelo por medio de la ebullición durante 20 - 30 minutos con movimientos continuos del picnómetro para así ayudar a la remoción de dichos gases.
- Se deja enfriar el picnómetro y la suspensión de suelo a temperatura ambiente, llénese el agua destilada hasta completar la línea de aforo. Determine su masa (W_1) y su temperatura (t)

Cálculos y Resultados:

- Se determina el peso específico de los sólidos con la fórmula:

$$G_s = \frac{W_s}{(W_s + W_2 + W_1)} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

W_s = Masa del suelo

W_1 = Masa del picnómetro con el suelo y agua

W_2 = Masa del picnómetro con agua (calibración)

1.8.2.1.4.- Análisis granulométrico por medio del método del hidrómetro (ASTM D7928-17)

Conocido también como el método de sedimentación, Ugas (1981) explica que dicho método consiste en separar y clasificar por tamaños partículas que componen un suelo, determinado debido a porcentaje, del peso total, la cantidad de granos de distintos tamaños por medio de la sedimentación. Es útil para la

determinación de contenido de suelos de grano finos (limo y arcillas) en las cuales por métodos mecánicos hacen imposible tal medición.

Los procedimientos que se mencionan están basados en la Ley de Stokes, que relacionan la velocidad de caída libre de una esfera en el seno de un fluido con su diámetro.

Por medio de este método es posible conocer la variación de la densidad que experimenta la suspensión, a medida que van sedimentando (hace que el hidrómetro se hunda más) (figura 4). Las lecturas del densímetro, simultáneas con las del tiempo y temperatura, referidos al instante inicial y al peso inicial de las partículas son los datos que permiten la determinación indirecta del diámetro y masa del sedimento que está en suspensión en un momento dado.

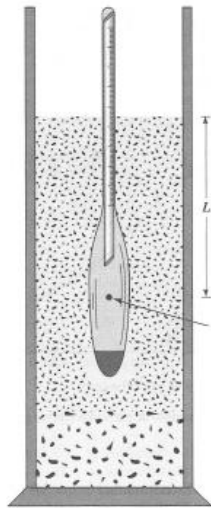


Figura 4. Cilindro de sedimentación con la muestra y el Hidrómetro 152H o densímetro para la determinación del tamaño de grano en suelos finos. Fuente: Das (2001)

Instrumentos, equipos e insumos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza electrónica con apreciación de 0,01g

- Cilindro de sedimentación de 1000 ml, debe estar calibrado antes del ensayo.
- Batidora eléctrica estandarizada
- Termómetro con apreciación de 0,1 °C.
- Hidrómetro de Bouyoucos de 152 B.3.- Hidrometría
- Tamiz No 10 con su respectivo fondo.
- Cronómetro.
- Agente dispersante (Hexametáfosfato de Sodio)
- Agua destilada
- Aproximadamente 50 gramos de muestra para suelos limosos o arcillosos pasante del tamiz N° 10

Procedimiento:

- Secar la muestra, triturlarla y pasarla por el tamiz No. 10
- Preparar el agente dispersante (125 ml), mediante una solución al 4% normal de Hexametáfosfato de sodio (40 gr de soluto / 1 l de solución), la cual se deja reposar por 24 horas.

Determinación de la corrección compuesta de las lecturas del hidrómetro

- Se prepara una solución de 125 ml del agente dispersante más agua destilada hasta completar 1 litro.
- Medir la temperatura y cuando esta sea constante, se inserta el hidrómetro de Bouyoucos 152H y se espera un intervalo de tiempo hasta que este adquiera la misma temperatura del líquido.
- Tomar la lectura en el tope del menisco formado en el cuello del hidrómetro, así como la temperatura del líquido.

Dispersión de la muestra

- Colocar la muestra en un recipiente con la solución y se deja reposar por un período de 16 a 24 horas.
- Transvasar la muestra al vaso de dispersión, añadiendo agua destilada hasta completar la mitad de capacidad del recipiente.
- Agitar el equipo durante un tiempo determinado

Mediciones con el hidrómetro

- Transferir toda la muestra del frasco batidor al cilindro de sedimentación.
- Agregar agua destilada hasta completar un volumen de 1 litro en el cilindro de sedimentación
- Tapar el extremo del cilindro de sedimentación, con un tapón hermético y se agita invirtiéndolo hacia abajo y hacia arriba, durante un minuto.
- Colocar el cilindro de sedimentación sobre una superficie adecuada y nivelada, se introduce el hidrómetro con mucho cuidado tratando de no perturbar el medio.
- Registrar el tiempo desde que se coloca el cilindro sobre la superficie, se deben tomar las lecturas del hidrómetro en los siguientes intervalos: 0.5, 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min.

1.8.2.1.5.- Determinación de los límites de consistencia en suelos cohesivos (ASTM D4318-00)

Los ensayos de los límites de consistencia o de Atterberg son determinados por pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los materiales cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del material, así como para la clasificación del mismo (Das, 2001)

La preparación de la muestra consiste en disgregar la muestra en un mortero, luego tamizarla por un tamiz 40 y lo que pase es lo que se usa para ser mezclado con contenido de variable de agua para proceder a realizar los ensayos por medio de la Cuchara de Casagrande (ver figura 5; Das, 2001)

Con estos análisis se busca verificar los demás ensayos realizados ya que su comportamiento plástico está ligado a la composición mineralógica, específicamente al contenido de arcillas que estas pueden contener, además que graficando los resultados en la carta de plasticidad de Casagrande (ver figura 6), se puede saber qué tipo suelo cohesivo, además de conocer si es de naturaleza orgánica o inorgánica.

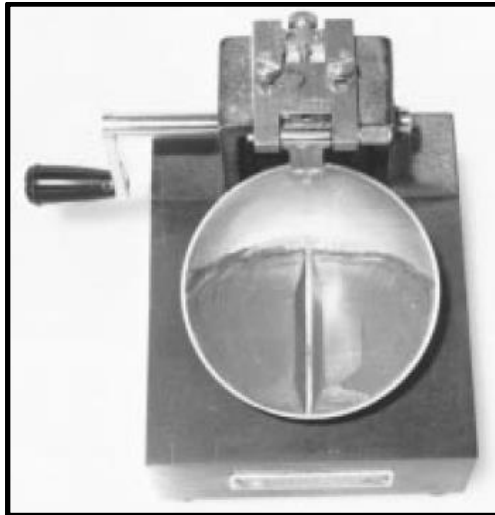


Figura 5. Cuchara de Casagrande. Tomado de ASTM D4318 - 00

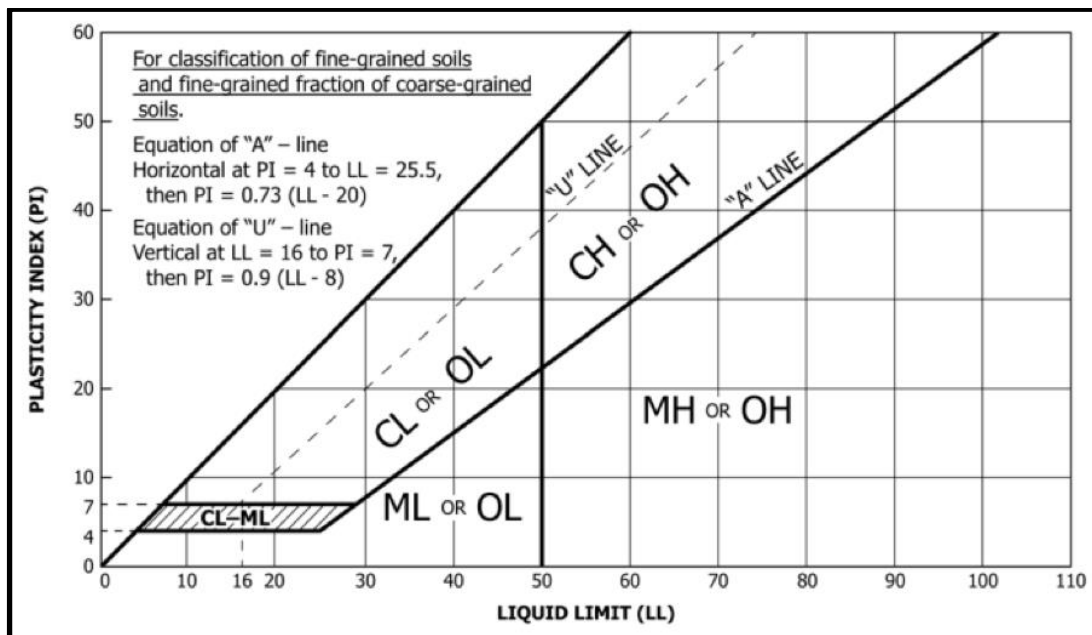


Figura No. 6. Carta de Plasticidad de Casagrande. Tomado de la ASTM D2487-17

Límite Líquido (%LL):

Instrumentos y equipos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.
- Balanza electrónica con apreciación de 0,01g
- Espátula.
- Aparato de Casagrande, el que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de 200 ± 20 gr., montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho, madera o plástico duro.
- Acanalador (Casagrande o ASTM), mango de calibre de 1 cm. para verificar la altura de caída de la cuchara.
- Misceláneos como placas de vidrio, agua destilada, recipientes herméticos, cedazo No. 40 ASTM, fondo de tamiz y probeta de 25 ml de capacidad.

- Aproximadamente de 150 a 200 gr de material pasante tamiz N° 40.

Procedimiento:

- Se añade agua a la muestra y se amasa.
- Se deja reposar por 1 hora.
- Se coloca en el Aparato de Casagrande una capa de muestra uniforme cercana a 1 cm de espesor, apisonándola en el fondo con movimientos circulares mediante la espátula evitando así que la muestra atrape burbujas de aire.
- Se hace una canal con el ranurador desde el interior hasta el borde dejando un canal limpio y claro.
- Se cuenta el de golpes (N) para que el surco se cierre aproximadamente 12 mm, se recoge la muestra y se proceder a secar en el horno a por 24 horas.
- Se procede a calcular el porcentaje de límite líquido (%LL) por medio del método de un solo punto propuesto por Casagrande:

$$\%LL = \omega(\%) \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

N = de golpes para lograr el cierre del surco

ω (%) = Contenido de humedad

Límite Plástico (%LP):

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de 110° C ± 5°C.

- Balanza con apreciación de 0,01 gr.
- Tamiz N° 40 con su respectivo fondo de cedazo
- Placa de vidrio esmerilado o mármol como superficie de amasado.
- Patrón de comparación, puede usarse un alambre ó plástico de 3 mm de Diámetro.
- Probeta de 25 ml de capacidad.
- Misceláneos como agua destilada y recipientes herméticos.
- Aproximadamente 150 a 200 g de material pasante del tamiz N° 40.

Procedimiento:

- Se añade agua a la muestra y se amasa.
- Sobre una superficie lisa, con la mano, se elaboran cilindros de 3 mm de diámetro.
- Se repite el procedimiento hasta que el cilindro se agriete durante el proceso de amasado (Ver figura 7)
- Se reúnen los trozos de los cilindros en un recipiente y se determina su masa en la balanza.
- Se determina el contenido de humedad, secándolo en el horno, obteniendo así el valor de límite plástico.

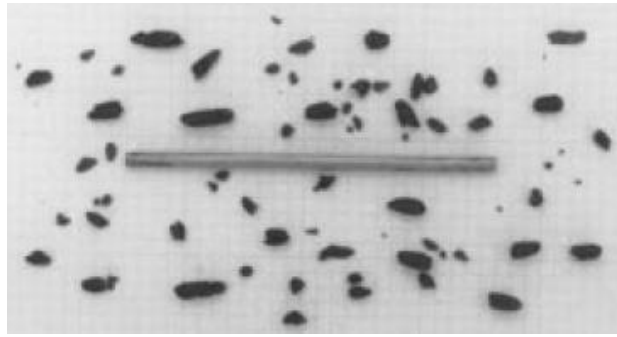


Figura No. 7. Cilindro agrietado para la determinación del porcentaje de límite plástico.
Tomado de ASTM D4318 - 00

Índice de Plasticidad (%IP):

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$\%IP = \%LL - \%LP \text{ (Ec. 6)}$$

Dónde:

$\%LL$ = Porcentaje de límite líquido

$\%LP$ = Porcentaje de límite plástico

1.8.2.1.6.- Ensayo de compresión inconfiada en suelos cohesivos (ASTM D2166)

Das (1981) como que este procedimiento tiene como finalidad obtener los valores de resistencia al corte no drenado (S_u). Consiste en tomar una muestra cilíndrica de material, con altura igual a 2 - 2,5 veces su diámetro y comprimirla axialmente en una prensa (Ver figura 8). Un manómetro permite ir midiendo las presiones ejercidas sobre la muestra colocada. La carga de compresión se va incrementando hasta producir la falla de la muestra bajo esfuerzo axial. El esfuerzo máximo a compresión (q_u) que es capaz de resistir el material es el máximo esfuerzo registrado por la curva esfuerzo-deformación obtenida a través del ensayo. La resistencia al corte no drenado (S_u) del material, dada por la

cohesión entre partículas suele estimarse en un 50% de la resistencia última a la compresión (q_u).

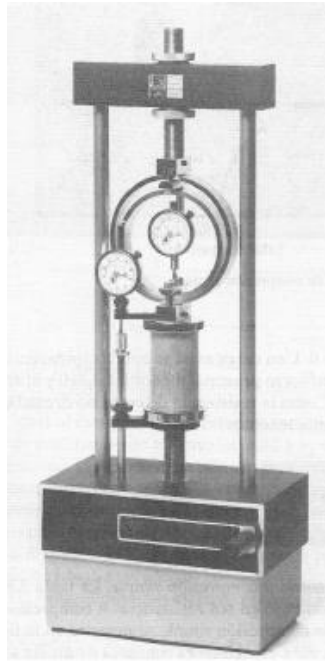


Figura 8. Equipo para ensayo de compresión simple. Tomado de Das (2001)

Instrumentos y equipos:

- Prensa para aplicar la carga de compresión axial
- Deformímetro para medir la deformación axial de la muestra durante la compresión.
- Torno de tallado de muestras
- Molde tipo abrazadera para emparejar sus caras
- Horno de secado de muestra a $\pm 105^\circ\text{C}$
- Vernier para medir las dimensiones de la muestra
- Balanza de precisión 0,01 g

- Misceláneos como cuchillo tallador, sierra de alambre, recipientes para muestra, cronometro, etc.

Procedimiento:

- Después de tallada la muestra en el torno, medir su altura, diámetro y masa. Determinar área, volumen y densidad de la muestra
- Del material sobrante del tallado, almacenarlo en un recipiente de metal para colocarlo en el horno y así obtener la humedad inicial.
- Colocar la muestra cilíndrica en la prensa axial, sujetar el medidor de fuerza y el deformímetro.
- Aplicar la carga vertical, registrando lecturas tanto de fuerza como de deformación hasta que falle. Es importante destacar que se debe graduar y/o calibrar la velocidad de corte tal que la rotura se produzca en no menos de 5 minutos ni más de 15. Recomendable tomar unas 5 - 10 lecturas después del fallamiento.

Cálculos y Resultados:

- Dibujar un croquis de la muestra después del ensayo, indicándose la forma de falla o en su defecto tomar una fotografía.
- Dibujar un croquis de la muestra después del ensayo, indicándose la forma de falla o en su defecto tomar una fotografía.
- Calcular deformación axial unitaria a cada lectura de la siguiente manera:

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_o} \text{ (Ec. 7)}$$

Dónde:

Δh = Cambio de altura leída en el deformímetro

h_o = Altura inicial de la muestra

- Calcular el área corregida de la muestra (A_c) a cada lectura de la siguiente manera:

$$A_c = \frac{A_o}{(1 - \epsilon)} \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

A_o = Area inicial de la muestra

ϵ = Deformación axial unitaria

- Determinar la máxima resistencia a la compresión axial (q_u) a cada lectura de la siguiente manera:

$$q_u = \frac{F}{A_c} \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde:

F = Fuerza axial neta aplicada sobre la muestra durante el ensayo

A_c = Área corregida de la muestra

- Determinar la cohesión (S_u) de la muestra como el cociente de la máxima resistencia a la compresión entre 2 ($S_u = q_u/2$)
- Dibújese la curva esfuerzo deformación y determínese el módulo de elasticidad o de Young (E), como la pendiente de la parte inicial del trazado.

1.8.2.1.7.- Ensayo de corte directo (ASTM D3080-11)

Consiste en una caja de corte (metálica) en la que se coloca la muestra. El tamaño de los especímenes de suelo generalmente está entre 20 y 35 cm² y de 20 a 30 mm de altura. La caja está cortada horizontalmente en dos partes donde se aplican dos fuerzas: una fuerza normal sobre el espécimen desde la parte superior de la caja y otra fuerza de corte aplicada desplazando una mitad de caja con respecto a la otra, para generar la falla del espécimen inalterado del suelo (ver

figura 9). Este procedimiento se realiza a tres muestras del mismo espécimen de suelo con tensiones isotrópicas crecientes. Con este ensayo se puede estimar los parámetros de resistencia al corte para los suelos granulares: Angulo de fricción interna (ϕ) y cohesión C .

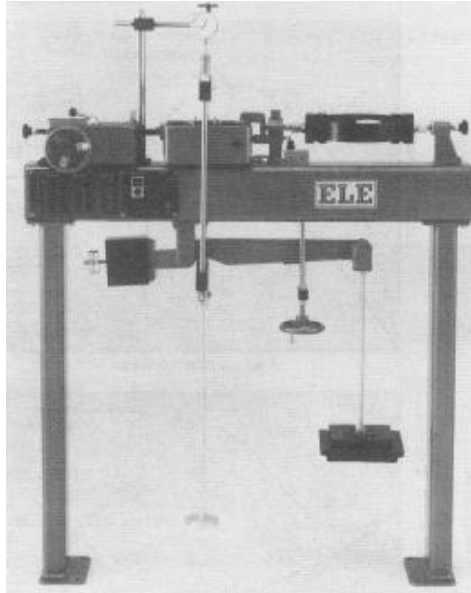


Figura 9. Equipo para ensayo de corte directo. Tomado de Das (2001)

Instrumentos y equipos:

- Maquina de corte directo para aplicar la fuerza de carga horizontal con sus respectivas pesas para consolidar la muestra.
- Deformímetros para medir tanto la deformación como la fuerza horizontal de la muestra durante el cortado de la muestra.
- Torno de tallado de muestras con su respectivo anillo calibrado
- Horno de secado de muestra a $\pm 105^{\circ}\text{C}$
- Vernier para medir las dimensiones de la muestra
- Balanza de precisión 0,01 g

- Misceláneos como cuchillo tallador, sierra de alambre, recipientes para muestra, cronometro, etc.

Procedimiento:

- Después de tallada la muestra en el torno, medir su altura, diámetro y masa. Determinar área, volumen y densidad de la muestra. Si son especímenes reconstituidos, tratar de simular y/o “reconstruir” las condiciones iniciales.
- Del material sobrante del proceso de preparación, almacenarlo en un recipiente de metal para colocarlo en el horno y así obtener la humedad inicial.
- Colocar la muestra tallada o reconstituida en el aparato de corte directo, ajustar el medidor de fuerza y el deformímetro.
- Consolidar la muestra colocada en el aparato de corte por medio de masas previamente calibradas para así lograr el esfuerzo de consolidación axial deseado sobre el espécimen. El esfuerzo de consolidación normal (σ) es calculado de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{\Sigma M}{A_o} \quad (\text{Ec. 10})$$

Dónde:

ΣM = Sumatoria total de las masas a colocar

A_o = Área de la muestra

- Permitir un tiempo prudencial para lograr la consolidación de acuerdo con el tipo de material. Si el material es granular solo basta de 15 - 30 minutos

En cambio, cuando es material cohesivo de consistencia compacta a dura se debe dejar de 60 a 180 minutos. Si son suelos muy blandos dejar consolidando de un día para otro.

- Aplicar la carga horizontal, registrando lecturas tanto de fuerza como de deformación hasta que falle. Es importante destacar que se debe graduar y/o calibrar la velocidad de corte de acuerdo con el tipo de material. La norma ASTM D3080 (Corte Directo) recomienda las siguientes tasas de deformación mostradas en la Tabla 2:

Tabla 2. Tasas de deformación recomendadas de acuerdo con la litología de acuerdo con la ASTM D3080

Tipo de material (SUCS)	Tiempo mínimo de falla, t_f (minutos)
SW, SP (<5% material fino)	10
SW-SM, SP-SM, SM (>5% material fino)	60
SC, ML, CL, SP-SC	200
MH, CH	1440

- Después de finalizado el ensayo proceder a desmontar la muestra y con ello medir la humedad final.
- Repetir este procedimiento por lo menos dos veces más, pero aumentando los esfuerzos de consolidación recomendable en progresión aritmética de 2.

Cálculos y Resultados:

- Calcular el esfuerzo de corte máximo (τ) a cada lectura de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 11})$$

Dónde:

F = Fuerza horizontal neta aplicada sobre la muestra

A = Área de la muestra

Se debe repetir este proceso por cada uno de los puntos cortados en ensayo

- Dibújese la curva esfuerzo normal vs esfuerzo de corte, colocando los puntos de los ensayos. Obsérvese que a medida que aumenta el esfuerzo normal; aumenta el esfuerzo de corte (ver figura 10)
- Trazar la envolvente de falla que abarque cada uno de los puntos graficados, tal y como se observa en la figura 10. Determinése la pendiente de la recta generada, en donde ese trazo corte el eje de los esfuerzos cortantes (τ) será la cohesión (C)
- Aplicando trigonometría básica obtener el ángulo de fricción interna (ϕ), expresado en grados, donde:

$$\text{Angulo de fricción interna } (\phi) = \text{Tg}^{-1}(m) \text{ (Ec. 12)}$$

Dónde:

m = Pendiente de la envolvente

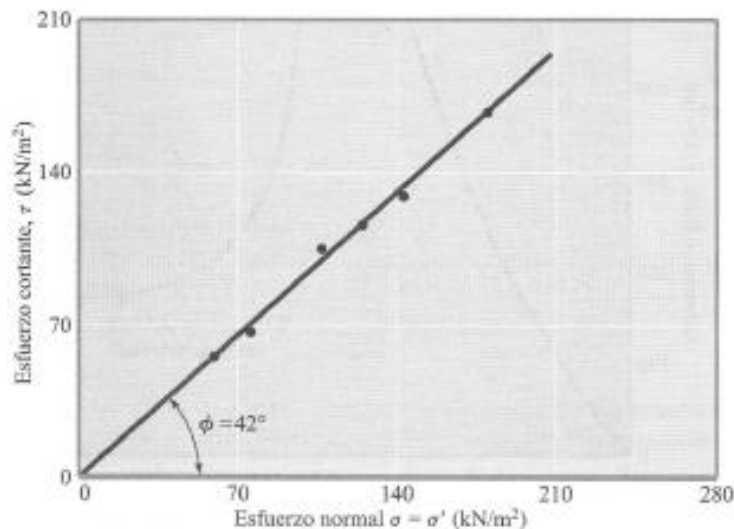


Figura 10. Determinación de los parámetros de resistencia cortante. Tomado de Das (2001)

1.8.2.1.8.- Ensayo de Difracción de Rayos X

Se analizarán una serie de muestras representativas preseleccionadas pertenecientes a la zona de estudio, para así determinar su composición mineralógica.

Esta fase consta de dos partes:

1. Preparación de las muestras, las cuales se secarán en un horno convencional a 105 °C para luego triturarlas para pasarlas por el tamiz No. 200.
2. Análisis por Difracción de Rayos X: Se realizó en los Laboratorio de Difracción de Rayos X (DRX) (ver figura 11) de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV, la cual, consiste en caracterizar cualitativamente la mineralogía total de las muestras de arcilla.



Figura 11. Equipo para la determinación cualitativa mineralógica por medio de la Difracción de Rayos X (DRX) de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV.

Para finalizar, en la sección de anexos se presenta el perfil litológico obtenido en cada perforación, incluyendo los resultados de los ensayos de campo y laboratorio. Adicionalmente, se presentan las tablas resumen de resultados de los ensayos de laboratorio y las planillas con los resultados de los ensayos ejecutados

sobre las muestras analizadas.

1.8.3 Etapa 3

1.8.3.1 Integración de los Resultados de Laboratorio

Esta etapa tiene como finalidad la integrar los resultados a partir de las herramientas anteriormente expuestas, con el fin de generar modelo, mapas y perfiles geomecánicos del material arcilloso con el uso de paquetes informáticos tales como: *ArcGIS N°9*, *AUTOCAD*, *Microsoft Excel*, entre otros.

1.8.4 Etapa 4

1.8.4.1 Trabajo de oficina

Una vez obtenidos estos datos, se procederá a integrar toda la información con el fin de generar un modelo geomecánico, obteniendo como resultado una serie de mapas, perfiles, y así interpretar su comportamiento.

Es importante destacar que, utilizando herramientas informáticas como *Microsoft Excel*, se creará una base de datos para cotejar las propiedades geomecánicas, generando así diversas gráficas, correlaciones empíricas y comparaciones relacionadas con las propiedades de la arcilla en estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- SUELOS, ORIGEN Y FORMACIÓN

Tarbuck (2005) define suelo como una combinación de materia mineral y orgánica, agua y aire: la porción del regolito que sustenta el crecimiento de las plantas. Aunque las proporciones de los principales componentes que hay en el suelo varían, siempre están presentes los mismos componentes. Alrededor de la mitad del volumen total de un suelo superficial de buena calidad está compuesto por una mezcla de roca desintegrada y descompuesta (materia mineral) y de humus, los restos descompuestos de la vida animal y vegetal (materia orgánica). La otra mitad consiste en espacios porosos entre las partículas sólidas donde circula el aire y el agua.

Asimismo, Terzaghi (1955) establece suelo desde un punto de vista ingenieril como todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad, como agitación en agua. En cambio, define roca como un agregado de minerales unidos por fuerzas cohesivas.

La meteorización como el proceso o grupo de procesos destructivos mediante los cuales materiales terrosos o rocosos cambian de color, textura, composición, firmeza o forma al ponerse en contacto con agentes atmosféricos, todo esto con poco o nada de transporte del material aflojado o alterado.

Padrón (2010) explica que la acción conjunta de todos esos fenómenos a lo largo del tiempo genera notables cambios en la composición y configuración de las rocas superficiales. Dichos cambios afectan a los materiales según:

- (a) Evolución hacia estados de mayor equilibrio con las condiciones ambientales en las interfaces atmósfera-hidrosfera-litosfera.
- (b) Transformaciones irreversibles, de un estado masivo a plástico.

- (c) Modificaciones de volumen, densidad, tamaño de grano, etc.
- (d) Formación de nuevos minerales.
- (e) Concentración de minerales menos alterables, que quedan como residuos.
- (f) Movimientos de transferencia, traslación, dispersión y agregación.
- (g) Preparación de las rocas facilitando su erosión y transporte en etapas subsiguientes.

Las transformaciones debidas a la meteorización originan cambios texturales en las rocas, variando su compacidad y hace que sean más deleznales. Estas modificaciones en los materiales favorecen la penetración del agua necesaria para las transformaciones, facilitando el desarrollo conjunto de gran variedad de reacciones. Entre las más comunes se encuentran, según Suárez (1998):

- (a) Hidratación - deshidratación - oxidación.
- (b) Carbonatación - disolución - precipitación.
- (c) Hidratación - carbonatación - hidrólisis.
- (d) Disolución - oxidación.

2.2.- MINERALOGÍA DE LAS ARCILLAS

En este orden de ideas, Hurlbut (1976) define mineralógicamente a las arcillas como un término petrográfico y como la mayoría de los elementos terrestres; está constituida por un cierto de diferentes minerales en múltiples proporciones. Se refiere como un material de grano fino, terroso, que se hace plástico al ser mezclado con cualquier líquido. Asimismo, Suárez (1998) menciona que son esencialmente hidróxidos de aluminio formando capas de silicatos, los cuales tienen una estructura en capas o partículas laminares.

Existe una amplia gama de familias de arcillas minerales con propiedades físicas y químicas muy diversas, aunque la mayoría tienen en común hábitos con

morfologías aplanadas y exfoliación perfecta entre láminas, como consecuencia de su estructura en capas. El grupo de las arcillas puede ser subdividido en varios subgrupos con sus especies principales:

(a) Subgrupo de la Caolinita:

Caolinita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$

Anauxita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 (\text{OH})_4$

Dickita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$

Nacrita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$

Halloysita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Meta-halloysita, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$

Alófana, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (1-2) \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Compuestas por una hoja simple de tetraedro de sílice y una simple hoja octaédrica de aluminio combinadas en una unidad tal que las esquinas de los tetraedros de sílice y una de las capas octaédricas forman una capa común, en las mismas direcciones (ver figuras 12 y 13).



Figura 12. Vista microscópica de una partícula de arcilla Caolinita. Tomado de Lambe (2001)

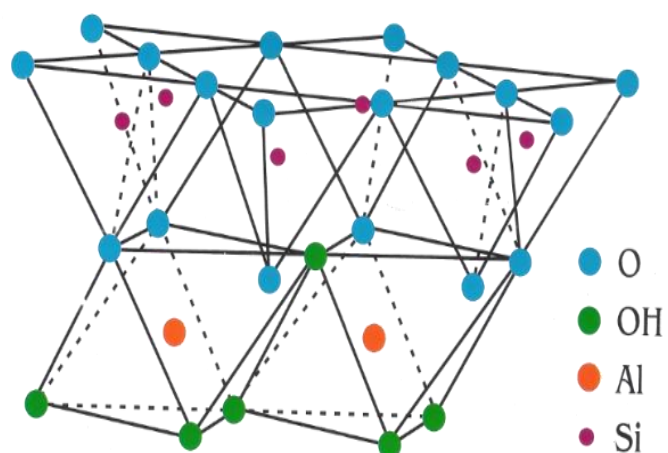


Figura 13. Diagrama esquemático de la estructura de la capa de Caolinita. Tomado de Grim (1962)

(b) Subgrupo de las Montmorillonita o de la Esmectitas

Montmorillonita, $(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{Si}_{4-3,5}, \text{Al}_{0-0,5})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Beidellita, $(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{Si}_{3,5-3}, \text{Al}_{0,5-1})\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})$

Nontronita, $(\text{Fe}^{3+} \text{ Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Ca}, \text{Na})$

Saponita, $(\text{Mg}, \text{Al})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Compuestas por unidades mayores de dos hojas de tetraedros de sílice con una hoja octaédrica de aluminio intercalada. Todas las esquinas de los tetraedros están en la misma dirección hacia el centro de la unidad. Dichas hojas son combinadas en las esquinas de los tetraedros de cada hoja de sílice y una de las capas de hidróxidos de las hojas octaédricas (ver figuras 14 y 15)

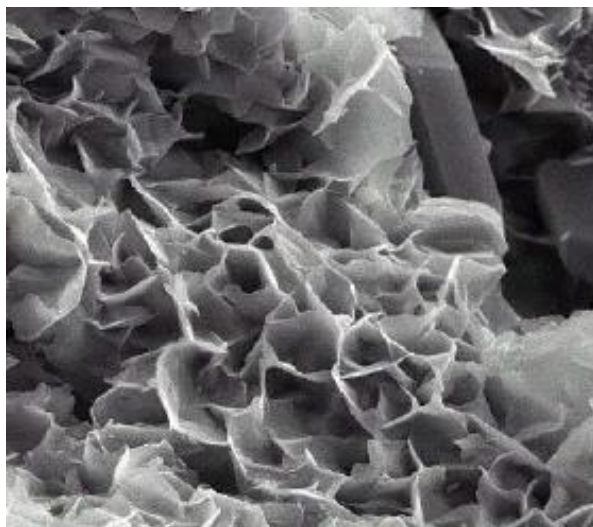


Figura 14. Vista microscópica de una partícula de Montmorillonita. Tomado de webmineral.com

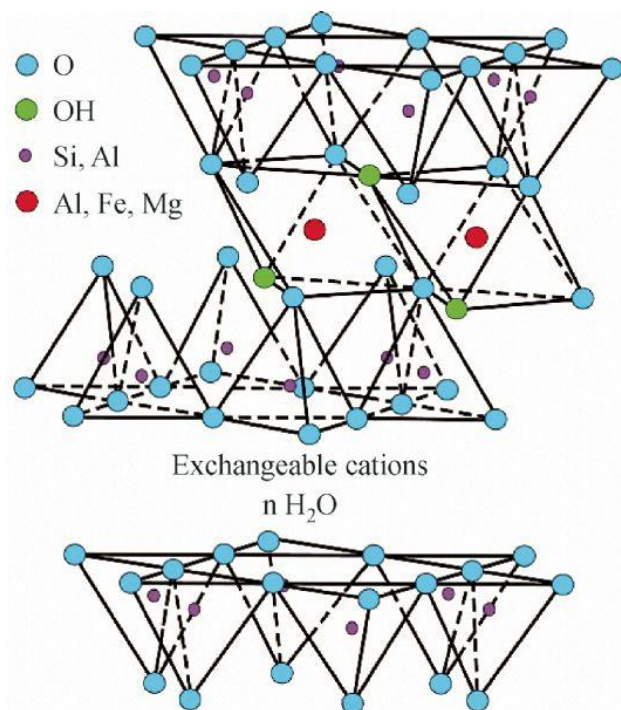


Figura 15. Diagrama esquemático de la estructura de la Montmorillonita. Tomado de Grim (1962)

(c) Subgrupo de la Illita

Hidromoscovita, $(K, Na, H_3O)_2(Al, Mg, Fe^{3+}, Fe^{2+})_4(Si_2, Al)O_{20}(OH)_4$

Compuesta por capas de dos hojas de tetraedro de sílice con una hoja octaédrica intercalada. Las esquinas de cada una de las hojas de tetraedros de sílice son combinadas con las hojas octaédricas en una simple capa con un adecuado reemplazo de los iones OH con los iones O (ver figuras 16 y 17)

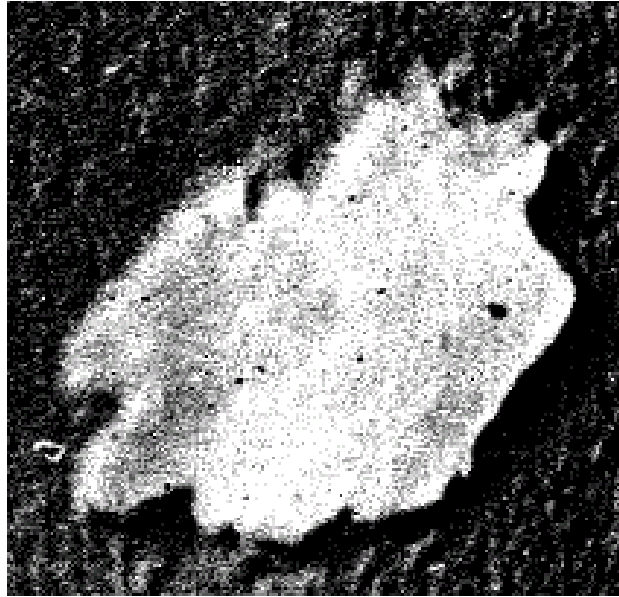


Figura 16. Vista microscópica de una partícula de Illita. Tomado de Lambe (2001)

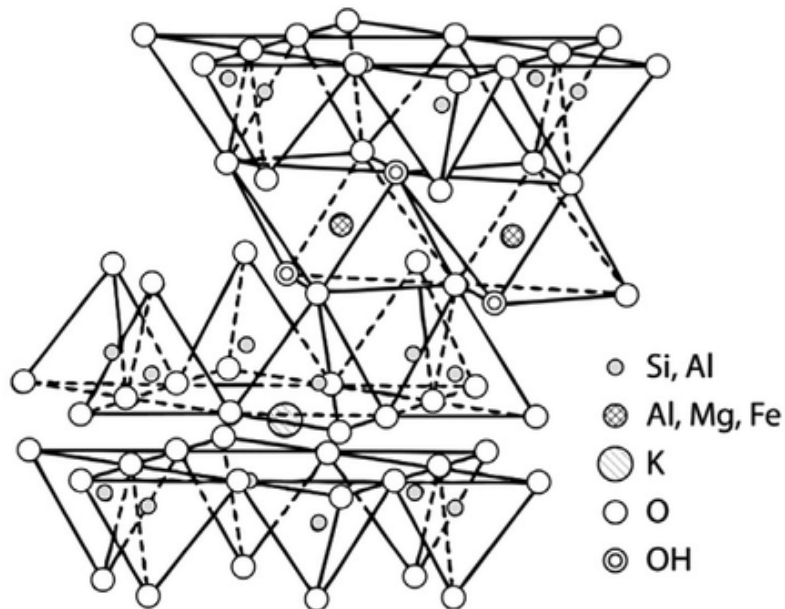


Figura 17. Diagrama esquemático de la estructura de la Illita. Tomado de Grim (1962)

(c) Subgrupo de la Palygosrkita - Sepiolita - Atapulgita

Palygosrkita, $(\text{Mg}_2\text{Al}_2)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Sepiolita, $\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{Mg} \cdot \text{H}_2)_3\text{H}_2\text{O}_2(\text{H}_2\text{O})$

Atapulgita, $(\text{Mg}, \text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$

2.2.1.- Factores que controlan las propiedades de las arcillas

Según Grim (1962), los principales factores que controlan las propiedades de los minerales de arcilla son:

- . - Composición mineralógica de la fracción arcillosa
- . - Composición mineralógica de la fracción no arcillosa
- . - Materia orgánica
- . - Iones intercambiables y sales solubles
- . - Textura

2.3.- NATURALEZA DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

Chen (1975) explica que los suelos arcillosos se expanden considerablemente cuando se agrega agua y luego se contraen con la pérdida de este. Las arcillas expansivas cubren grandes extensiones de. En general, tiene límites líquidos e índices de plasticidad mayores a aproximadamente 40% y 15% respectivamente.

2.4.- NATURALEZA DE LOS RAYOS X

Como se ha mencionado en anteriores ocasiones, debido al tamaño de los granos presente en los suelos arcillosos limolita se hace muy complejo identificar los componentes mineralógicos mediante un estudio petrográfico; razón por la cual se acude a la técnica de difracción de rayos X (DRX) para un análisis en “muestra total” con el fin de identificar los componentes presentes.

Como se observa en la figura 18, los rayos X son radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia y de muy corta longitud de onda, 10 nm hasta 0,0001 nm (1 nm o nanómetro equivale a 10 m). Estos rayos se generan cuando un haz de electrones de alta energía o velocidad incide sobre la materia (Grande 1996)

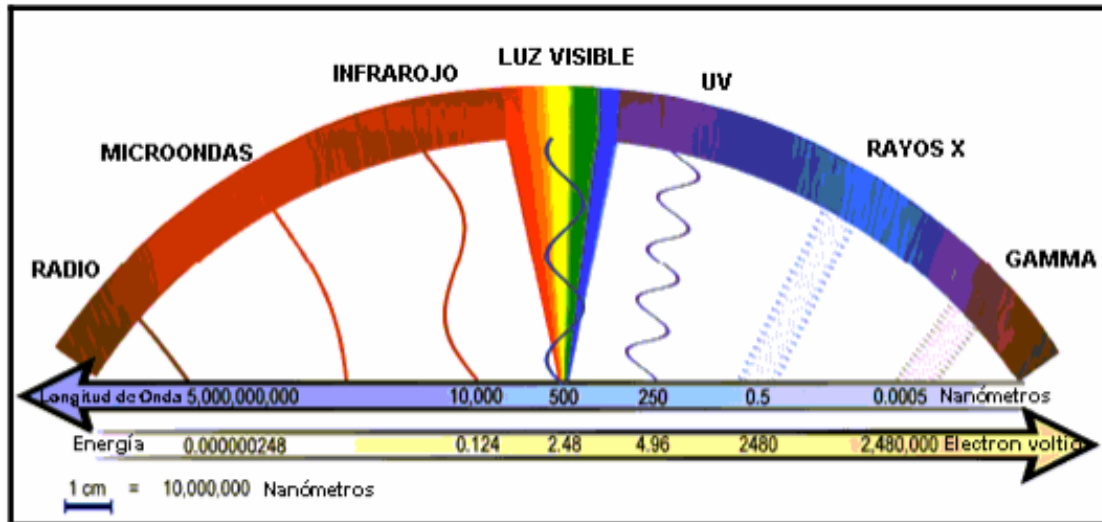


Figura 18. Espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda. Tomado de Romero (2011)

Los rayos X que más interesan en el campo de la difracción de rayos X son aquellos que disponen de una longitud de onda próxima a 1 Angstrom y corresponden a una frecuencia de aproximadamente 3 millones de Thz (tera-hertzios) y a una energía de 12,4 keV (kiloelectrón-voltios)

La aplicación fundamental de la difracción de rayos X en la rama de las ciencias geológicas es la identificación de la composición mineralógica de una muestra cristalina de roca/suelo.

2.5.- LUTITA

Pettijohn (1963) define lutita desde el punto de vista sedimentológico como una roca sedimentaria clástica de grano muy fino, integrada exclusivamente integrada

por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo cuyo diámetro de granos son menores a 1/256 mm.

Las lutitas pueden ser arcillosas, limosas, arenosas o carbonáticas de acuerdo a los tamaños y composición de las partículas. En ocasiones tienen una presencia de roca cementada y en otras el de un suelo con capas relativamente sueltas.

Suárez (1998) explica que las lutitas constituyen cerca de la mitad del volumen de rocas sedimentarias sobre la corteza terrestre y han sido algunos de los materiales degradados más complicados de manejar en obras de ingeniería civil. Dichas rocas al meteorizarse forman inicialmente capas de arcilla de apariencia laminar, las cuales en el proceso final de meteorización se convierten en mantos gruesos de arcilla blanda laminada. Las diferencias de permeabilidad debidas a la distribución granulométrica y a la estratificación puede generar niveles colgados de corrientes de agua, las cuales a su vez producen meteorización diferencial, de acuerdo a las condiciones de humedad y saturación de cada capa de suelo estratificado.

Geomecánicamente este tipo de roca detrítica son uno de los materiales más complejo desde el punto de vista de estabilidad de taludes. De acuerdo con el grado de solidificación varían en su comportamiento. Las lutitas de grado bajo tienden a desintegrarse después de varios ciclos de secado y humedecimiento. Algunos de estos cuerpos sedimentarios son muy resistentes pero la mayoría presentan una resistencia al cortante, de mediana a baja.

De Marco (2002) menciona que en campo un cuerpo de material arcilloso litificado se puede considerar lutita cuando el de golpes S.P.T. sobrepasa los 60 – 70 golpes/pie.

2.6.- DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS BÁSICAS DE LOS SUELOS

2.6.1.- Humedad natural ($\omega\%$)

Das (2001) define este fundamental parámetro para el estudio de los suelos como la relación del peso del agua al peso de los sólidos en una determinada masa de suelo, expresada comúnmente en porcentaje:

El contenido de humedad se determina (de acuerdo a la ASTM D2216) pesando una muestra representativa del suelo en su estado húmedo, secando luego dicha muestra a peso constante en un horno calibrado a una temperatura de 100 °C a 110 °C y pesándola después. La diferencia entre el peso de la muestra antes y después de secada al horno representa el peso del agua que contenía la muestra. Este peso del agua expresado como porcentaje del peso seco de la muestra proporciona el contenido de humedad.

2.6.2.- Densidad de los sólidos (G_s)

Conocido también como “Gravedad específica” El peso específico de un mineral de composición determinada es constante, y su determinación es, con frecuencia, un valor importante en la identificación de un mineral. La metodología de trabajo para dicha determinación es la postulada por la ASTM D854 - 14. Este parámetro es adimensional.

2.6.3.- Distribución granulométrica

Consiste en la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. Das (2001), comenta que este parámetro es de gran utilidad; ya que nos ayuda a discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. Además, menciona que la distribución granulométrica de suelos de grano grueso es generalmente determinada mediante al análisis por tamizado (ver figura 19)

Asimismo, para suelos de grano fino, la distribución granulométrica puede obtenerse por medio del análisis granulométrico por medio del hidrómetro.

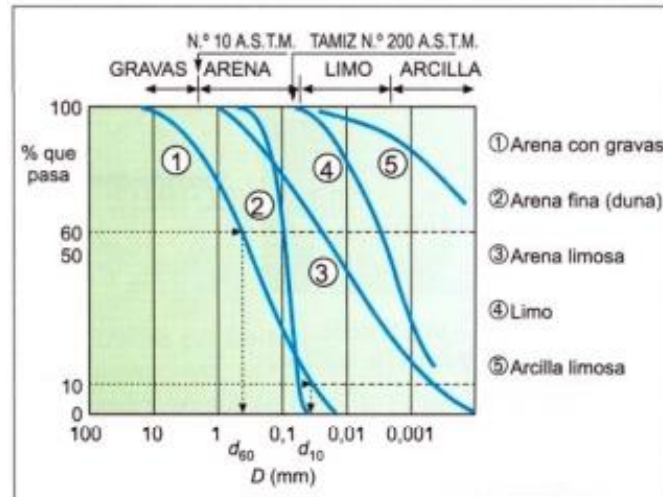


Figura 19. Granulometría de las partículas. Tomado de González de Vallejo (2006)

2.6.3.1.- Análisis granulométrico por tamizado

Avalado por la ASTM D422. Das (2006) comenta que se efectúa tomando una cantidad medida de muestra seca, lavada y pasándola a través de una serie de tamices estandarizados cada vez más pequeñas con su respectivo fondo final; haciéndolos vibrar y registrando la cantidad de masa retenida en cada criba. Así determinamos de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el sedimento grueso (arena y grava) (>0.075 mm de diámetro)

2.6.3.2.- Análisis granulométrico por hidrómetro

Esta técnica es la estipulada por la ASTM D7928 - 17 y se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diversos tamaños de las partículas que constituyen finos (limo y arcilla) (<0.075 mm de diámetro), la cual consisten en la velocidad de asentamiento de las partículas de suelo. A menor diámetro, el asentamiento es mucho más lento (Ley de Stokes) (Das, 2001)

2.6.4.- Límites del tamaño para suelos

Das (2001), expone que varias organizaciones han intentado desarrollar los límites de tamaño para *gravas, arenas, limos y arcillas* en base a los tamaños de las partículas de los suelos. La tabla 3 presenta los límites de tamaño recomendados en el sistema AASHTO y el SUCS.

Dicha tabla muestra que las partículas de suelos más pequeñas que 0.002 mm son clasificadas como arcillas. Sin embargo, este tipo de suelos son por naturaleza cohesivos y pueden convertirse en filamento cuando están húmedos. Esta propiedad es causada por la presencia de minerales de arcilla tales como Caolinita, Illita y la Montmorillonita.

En contraste, algunos minerales como el cuarzo y el feldespato pueden estar presentes en los suelos en partículas de tamaño tan pequeño como los minerales arcilla. Pero éstas no tienen la propiedad de cohesión de los minerales arcilloso. Por tanto, se denominan como “partículas de tamaño de arcilla” y no “partículas arcillosas” (ver tabla 3). En el presente trabajo especial de grado se basará en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Tabla 3. Límites de tamaño de suelos separados. Tomado de Das (2001)

Sistema de Clasificación	Tamaño del grano (mm)
SUCS	Grava: 75 mm a 4,75 mm Arena: 4,75 mm a 0.075 mm Limo y arcilla (finos): < 0.075 mm
AASHTO	Grava: 75 mm a 2 mm Arena: 2 mm a 0.05 mm Limo: 0.05 mm a 0.002 mm Arcilla: < 0.002 mm

2.6.5.- Densidad o Peso unitario

Serway (1996) define densidad como la relación existente entre la masa de cuerpo por unidad de volumen. Esto es una sustancia de masa M y volumen M .

Es un parámetro muy importante en la rama de la geología, ya que ayuda a definir la consistencia de los suelos. Conocida también como densidad húmeda o peso unitario húmedo y es denotada con la letra griega γ . En la rama de la geomecánica, parámetro depende de su composición mineralógica, origen geológico, y contenido de humedad etc.

A mayor densidad, mayor será la consistencia, la resistencia y por ende el potencial de expansión de los suelos. Caso contrario sucede cuando posee bajos valores de peso unitario. Es determinado por medio de ASTM D7263 – 09.

2.6.6.- Límites de consistencia

Dependiendo de ese valor, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados *sólidos*, *semisólido*, *plástico*, *líquido*, como lo muestra la figura 20.

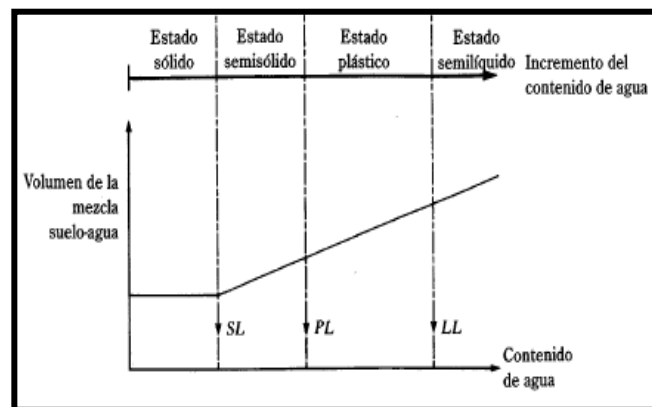


Figura No. 20. Definición de los Límites de Atterberg. Tomado de Das (2001)

El Índice de Plasticidad (IP), es la diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (PL) según lo estipulado en la ecuación 6.

Estos ensayos son determinados por pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los suelos cohesivos. Casagrande (1932), estudió la relación del Índice de Plasticidad respecto al Límite Líquido con una amplia variedad de suelos naturales.

Casagrande (1932), mencionado por Holtz y Kovacs (1981), estipula la importancia de este parámetro ingenieril como técnica auxiliar para la identificación de arcillas minerales de acuerdo con los valores de límites de consistencia, las cuales son mostrados en la Carta de Plasticidad en la figura 21.

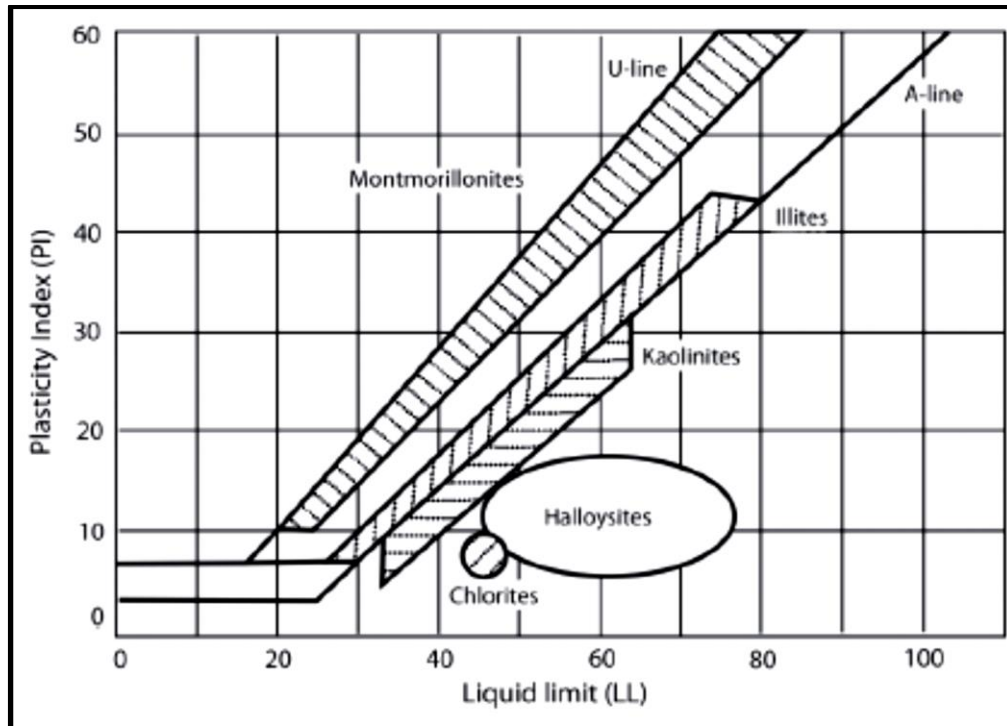


Figura 21. Ubicación de las arcillas minerales más comunes en la Carta de Plasticidad de Casagrande. Tomado de Holtz y Kovacs (1981)

2.6.7.- Actividad (A)

Skempton (1953), mencionado por Lambe (2001), definió una magnitud llamada “Actividad”, que es la pendiente de la línea que correlaciona el Índice de Plasticidad (IP) con el porcentaje de granos más finos que 2μ . Esta actividad se obtiene con la expresión:

$$A = \frac{\% \text{ IP}}{\% < 2 \mu (< 0,002 \text{ mm})} \quad (\text{Ec. 13})$$

Dónde:

A = Actividad, unidad adimensional.

% IP = Índice de Plasticidad.

% < 2 μ = Porcentaje en peso menor a 2 μ o 0,002 mm

2.6.8.- Superficie específica (Se)

Santamarina (2008), la define como la relación entre la superficie de una partícula A_p y su masa m . Resulta una medida independiente y complementaria al análisis granulométrico. Expresado en m^2/g . Las ecuaciones mostradas en la tabla 4 sección confirman que este parámetro está controlado por la menor dimensión de las partículas.

Tabla 4. Superficie específica teórica para distintas geometrías. Tomado de Santamarina (2008)

Forma o Geometría	Dimensiones	Ejemplos	Superficie específica
	Diámetro (o lado) D	Alofanos	$S_e = \frac{6}{D \cdot \rho_w \cdot G_s}$
	Diámetro (o lado) D , largo L (con $L \gg D$)	Haloisita, Imogolita	$S_e = \frac{4}{D \cdot \rho_w \cdot G_s}$
	Espesor t , ancho D , y largo L (con $t \gg L > D$)	Montmorillonita, Caolinita, Mica	$S_e = \frac{2}{t \cdot \rho_w \cdot G_s}$
ρ_w = densidad del agua, G_s = gravedad específica, S_e = superficie específica			

Santamarina (2008) estipula que los límites de Atterberg son una expresión de la superficie específica de los suelos. Evidencia experimental confirma que dicho valor geotécnico se relaciona con la Superficie específica (Farrar y Coleman, 1967)

$$Se (m^2/g) = (1,8 \times \%LL) - 34 \text{ (Ec. 14)}$$

Asimismo, Das (2001) la define como la superficie de área de las partículas de minerales arcillosos por unidad de masa. Para esta investigación se obtendrá dicho parámetro indirectamente de esta manera

2.6.9.- Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Santamarina (2008), comenta que el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS (ASTM D 2487 y 2488) es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Fue inicialmente propuesto por Arthur Casagrande en 1932, tentativamente adoptado por varias instituciones a nivel mundial. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos.

Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras

El mencionado autor también comenta que la primera y más importante decisión está dada por el contenido de finos, definido como el correspondiente a partículas de diámetro equivalente menor a 0,075 mm, pasante del tamiz #200. Si menos del 50% en peso del suelo pasa el tamiz No. 200, entonces el suelo es “grueso” y se subclasifica en arena o grava usando el tamiz No. 4.

De otro modo, el suelo es “fino” y se subclasifica en limo o arcilla, usando los límites de plasticidad. La figura 22 presenta un esquema simplificado del SUCS.

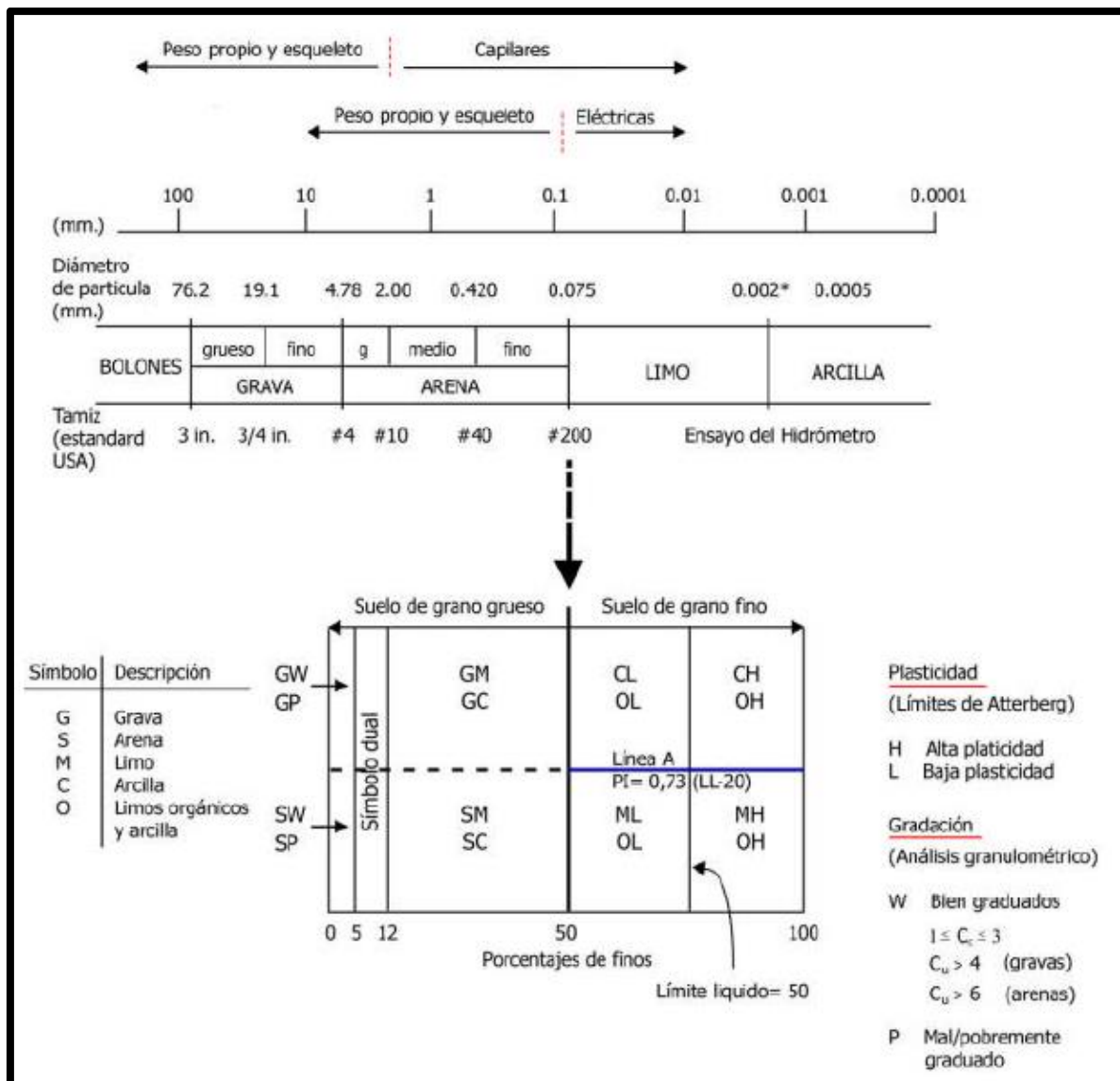


Figura 22. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. Basado en el análisis granulométrico y los límites de Atterberg. El tamaño de las partículas determina la naturaleza de las fuerzas que gobiernan el comportamiento de los suelos. Fuerzas de naturaleza eléctrica (fuerzas atractivas y repulsivas de Van der Waals) predominan en partículas menores a 75 mm (Tamiz No.200). Tomado de Santamarina (2008)

La importancia del tamiz No. 200 se hace evidente cuando se analizan las fuerzas dominantes sobre las partículas, incluyendo las de peso propio, las fuerzas debidas a los esfuerzos efectivos, fuerzas eléctricas y capilares. En la parte superior de la figura 22 muestra la correlación existente entre el tamaño

equivalente de las partículas y la naturaleza de las fuerzas gobernantes. Nótese que los tamices No. 200 y No. 4 logran capturar estos límites.

Por otro lado, los límites de Atterberg son escogidos para clasificar los suelos finos. Estos ensayos cuantifican la superficie específica y la formación de fábrica. Los ensayos de límites de consistencia deben ser realizados con el mismo fluido que estará involucrado durante la vida útil del proyecto ya que diferentes iones y concentraciones afectan la capa difusa y las fuerzas de repulsión.

2.7.- DEFINICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMECÁNICAS AVANZADAS DE LOS SUELOS

El comportamiento de los suelos frente a una intervención humana no responde a un patrón definido ni completamente predecible, esto se debe a su misma condición de ser un medio natural heterogéneo y anisotrópico, controlados a su vez por sus características físicas y mecánicas, las cuales son el resultado de los diversos procesos tectónicos y geológicos acontecidos en el sitio en estudio; desde su formación hasta el momento en que es intervenida.

Las características físicas principales que presentan los suelos son propias de su naturaleza geológica y se refieren a diversos factores como densidad, textura, su mineralogía, tamaño de grano, dureza, porosidad, arreglo cristalino, permeabilidad y grado de meteorización, entre otros.

Además, el comportamiento mecánico se ve además afectado por las diferentes litologías que lo conforman, las estructuras presentes y los estados de esfuerzos a los que se vea sometido en su medio natural. Todos estos factores se deben tomar en cuenta al momento de realizar algún aprovechamiento desde el punto de vista antrópico (diseño de fundaciones, explotación minera, investigación, entre otros).

En resumidas cuentas, las características físicas; las cuales se refieren básicamente a la geología y estructura de la zona, han sido por mucho tiempo uno

de los principales problemas a los que se ha enfrentado la geomecánica, ya que cada vez los proyectos de ingeniería son más ambiciosos y más exigentes en cuanto a calidad, seguridad y por supuesto en cuanto a reducción de costos. Se trata simplemente de poder aprovechar mejor las propiedades de los materiales presentes en el subsuelo o poder predecir con mayor exactitud el comportamiento que tendrá de acuerdo con la forma en que esta se vea afectada.

2.7.1.- Definición de términos mecánicos básicos

2.7.1.1.- Fuerza (F)

Serway (1996) la define como una magnitud física que caracteriza y cuantifica la interacción entre un cuerpo y su entorno. El efecto de una fuerza sobre un cuerpo es deformarlo (altera su tamaño y forma) o modificar su estado de movimiento. (Figueroa, 2007). Su unidad de acuerdo con el Sistema Internacional de Pesos y Medidas es el Newton (N)

2.7.1.2.- Esfuerzo o Tensión (σ)

Es la reacción interna de un cuerpo a la aplicación de una fuerza o conjunto de fuerzas; la cual es una cantidad que no se puede medir directamente, ya que lo que se mide es la fuerza que se aplica sobre un área determinada, si la fuerza actúa uniformemente sobre una superficie o un plano, el esfuerzo o tensión indica la intensidad de las fuerzas que actúan sobre ese plano (González de Vallejo, 2002)

2.7.1.3.- Estado Tensional

Se refiere a la definición y cuantificación de todas las fuerzas por unidad de área que son aplicadas sobre un cuerpo en un momento determinado; generalmente se determina definiendo los esfuerzos que son aplicados sobre tres planos ortogonales a través de un punto (González de Vallejo, 2002)

2.7.1.4.- Resistencia

Es el esfuerzo que el suelo puede soportar para unas ciertas condiciones de deformación. Cuando se alcanza la resistencia máxima se habla de resistencia pico (σ_p), y si el suelo en estudio sobrepasa esta resistencia pico y cae a otro valor de resistencia para deformaciones elevadas sin que exista rotura de la misma, se llama resistencia residual (σ_r). (González de Vallejo, 2002). Dicho parámetro es obtenido en muestras arcillosas por medio del ensayo de compresión inconfiada (ASTM D2166)

2.7.1.5.- Rotura

Según González de Vallejo (2002), la rotura es un fenómeno que se produce cuando el suelo/roca no puede soportar las fuerzas que se le aplican, y el esfuerzo alcanza un valor máximo que corresponde a la resistencia pico del material.

2.7.1.6.- Fractura

Es la formación de planos de separación, rompiéndose los enlaces de las partículas para crear nuevas superficies; se pierden las fuerzas cohesivas y permanecen únicamente las fricciones. Según González de Vallejo (2002) la dirección de estos nuevos planos de fractura depende de varios factores como: la dirección de aplicación de las fuerzas y las anisotropías presentes en el material a nivel microscópico o macroscópico.

2.7.1.7.- Cohesión (C)

Es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. Este parámetro de la mecánica de suelos es usado para representar la resistencia al esfuerzo cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión (Suárez, 1998). Asimismo, Goodman (1989) estipula que en materiales eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la

cohesión se supone igual a 0 y a estos suelos se les denomina como No Cohesivos.

Adicionalmente, González de Vallejo (2002) comenta que la resistencia de los suelos arcillosos influye tanto el contenido en arcilla, como en el tipo de material predominante. Dicho parámetro disminuye a medida que aumenta el contenido de arcilla, como se muestra en la figura 23.

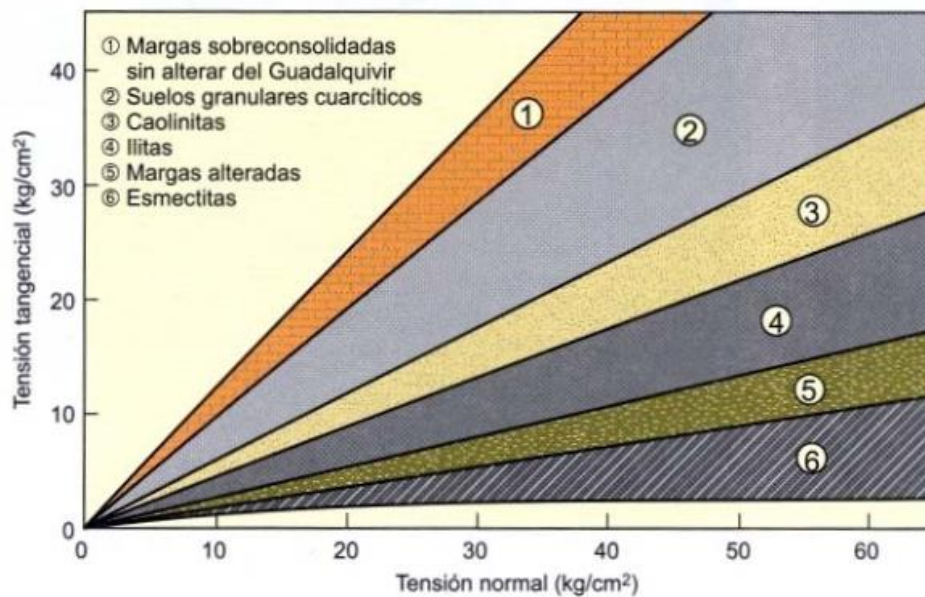


Figura 23. Influencia de la mineralogía en la resistencia. Tomado de González de Vallejo (2002).

2.7.1.8.- Ángulo de fricción interna, ϕ

Suárez (1998), define el ángulo de fricción interna denominado con la letra griega phi (ϕ), es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física (Serway, 1996):

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \tan \phi \quad (\text{Ec.15})$$

Este parámetro depende de varios factores. Suárez, (1998) menciona entre ellos la densidad, tamaño, forma y distribución de los tamaños de granos. Para finalizar, es importante destacar que tanto la cohesión como el ángulo de

rozamiento interno en suelos son obtenidos por medio del ensayo de corte directo (ASTM D3080)

2.7.1.9.- Deformabilidad

González de Vallejo (2002), la define como la propiedad mecánica que posee un suelo/roca para alterar su forma como respuesta a la actuación de fuerzas externas. Según sea la intensidad de la magnitud aplicada, el modo en que se aplica y las características mecánicas de la roca, dicho parámetro será permanente o elástico; este último caso el cuerpo recupera su forma original al cesar la actuación de la fuerza. La Deformabilidad se expresa por medio de las constantes elásticas *como el módulo de elasticidad (E) y el coeficiente de Poisson (v)*

El módulo de elasticidad define la relación lineal elástica entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida en la dirección de aplicación del esfuerzo, es expresado en unidades de presión. Ortiz (1998) define el coeficiente de Poisson como la relación entre la deformación transversal y axial, cuyo valor es adimensional.

2.7.2.- Clasificación según el estado físico de una roca

Esta clasificación, mejorada y propuesta por Salcedo (1969), la cual toma en cuenta para la clasificación del estado físico de la roca varios aspectos geológicos cualitativos y cuantitativos como:

Estado de la meteorización: Roca fresca, roca meteorizada, roca muy meteorizada y roca descompuesta.

Consistencia: Roca dura y blanda:

Frecuencia de diaclasas: Roca sana (no presenta fractura), roca fracturada (frecuencia entre 1 y 15 diaclasas por metro), roca muy fracturada (más de 15 diaclasas por metro)

A continuación, se presenta la nomenclatura correspondiente según lo descrito por Flores (1962) en la tabla 5:

Tabla 5. Clasificación según el estado físico de la roca. Tomado de Flores (1962)

Término	Definición (Según Flores, 1962)
RD	Roca descompuesta
RM	Roca meteorizada
RF	Roca fresca
B	Blanda
D	Dura
F	Fracturada
S	Sana
RD _b	Roca descompuesta, blanda*
RM _b	Roca meteorizada, blanda*
RM _d	Roca meteorizada, dura*
RM _b f	Roca meteorizada, blanda fracturada*
RM _d f	Roca meteorizada, dura fracturada*
RM _d s	Roca meteorizada, dura sana
RF _b	Roca fresca, blanda
RF _d	Roca fresca, dura
RF _b f	Roca fresca, blanda fracturada
RF _b s	Roca fresca, blanda sana
RF _d f	Roca fresca, dura fracturada
RF _d s	Roca fresca, dura sana
(*) Casos más comunes	

De los símbolos anteriormente mencionados, se resume lo siguiente:

- . - La primera letra, o sea la R, se refiere siempre a la roca.
- . - La segunda letra, usada después de la R, indica grados de meteorización y la escala, en orden de menor a mayor meteorización será:

Fresca (F) → Meteorizada (M) → Descompuesta (D)

- . - La tercera letra indica la consistencia y la escala varía de:

Dura (d) → Blanda (b)

- . - La cuarta letra es indicadora del grado de fractura, el cual variará de:

Sana (s) → Fracturada (f)

CAPÍTULO III

MARCO GEOLÓGICO

3.1.- GENERALIDADES

La región de estudio se ubica en los llanos centro occidentales del estado Guárico, perteneciente geológicamente a las diversas formaciones sedimentarias de los llanos venezolanos.

Durante el período Cretácico, hace más de 65 millones de años, la mayor parte de los Llanos estaba cubierta por el mar, al igual que el resto del territorio venezolano al norte del Escudo de Guayana. Hacia fines del período, comienza una regresión marina debida al levantamiento del Cratón de Guayana y la acumulación de sedimentos provenientes del mismo (González de Juana *et al.*, 1980)

Esta regresión continúa durante el Cenozoico, interrumpida por transgresiones marinas, en una evolución geológica de gran dinamismo, que determina el ascenso de las cordilleras de Mérida, Perijá y del Sistema Montañoso de la Costa, acompañado por el hundimiento de las cuencas circundantes y su relleno con sedimentos.

Durante el Eoceno Temprano, el levantamiento incipiente del sector occidental del Sistema Montañoso del Caribe determina aportes sedimentarios desde el norte. El Oligoceno y Mioceno se caracterizan por invasiones marinas. El levantamiento del Sistema Montañoso del Caribe a partir del Mioceno Medio, acentúa un incremento en el relleno sedimentario, al cual se suman los aportes del río Orinoco (González de Juana *et al.*, 1980)

El levantamiento de las cordilleras montañosas fue muy marcado durante el Plioceno y continuó en el Cuaternario, trayendo como consecuencia una intensa sedimentación en los Llanos, la cual continúa hasta el presente, sobre extensiones importantes de los Llanos Occidentales y en el Delta del río Orinoco.

En el área, el río Guárico y el anticlinal de Barbacoas definen la zona geográfica y geológicamente. La zona consiste en aluviones de grano fino (arcilla) del cuaternario, caso contrario que consiste en materiales del tipo lutita (González de Juana *et al.*, 1980)

3.1.1.- Historia geológica de la región

La Cuenca Oriental de Venezuela (COV) es una cuenca formada por la flexión del margen pasivo de Sur América durante su colisión oblicua en el Cenozoico, con la placa Caribe (ver figura 24), cubriendo un área aproximada de 165.000 km² y está limitada por la Cordillera de La Costa y la Serranía del Interior al norte, el Arco El Baúl al oeste, el Escudo de Guayana al sur, y la corteza oceánica del Atlántico ecuatorial al este (Romero, 2011)

La Cuenca Oriental de Venezuela (COV) a su vez está formada por dos sub-cuencas: Guárico y Maturín, separadas ambas por el Arco de Urica, el cual estuvo intermitentemente activo durante el Mioceno hasta el Holoceno. El origen de dicha provincia geológica (la cual es una cuenca antepaís periférica) puede ser resumido en tres fases principales definidas cronológicamente, según Romero (2011):

1. - Apertura o “Rifting” en el Paleozoico Tardío.
2. - Margen pasivo Cretáceo - Paleógeno.
3. - Compresión - Transpresión y desarrollo de cuenca ante - país Paleógeno - Cuaternario.

La COV se caracteriza por extensas llanuras y un área de mesas que comprende los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas, la cual es asimétrica con el flanco sur ligeramente inclinado hacia el norte. Toda la zona se profundiza y buza al Este, hacia el sureste de Trinidad donde se estima pueda alcanzar hasta 14 km de espesor (ver figura 25) (Romero, (2011))

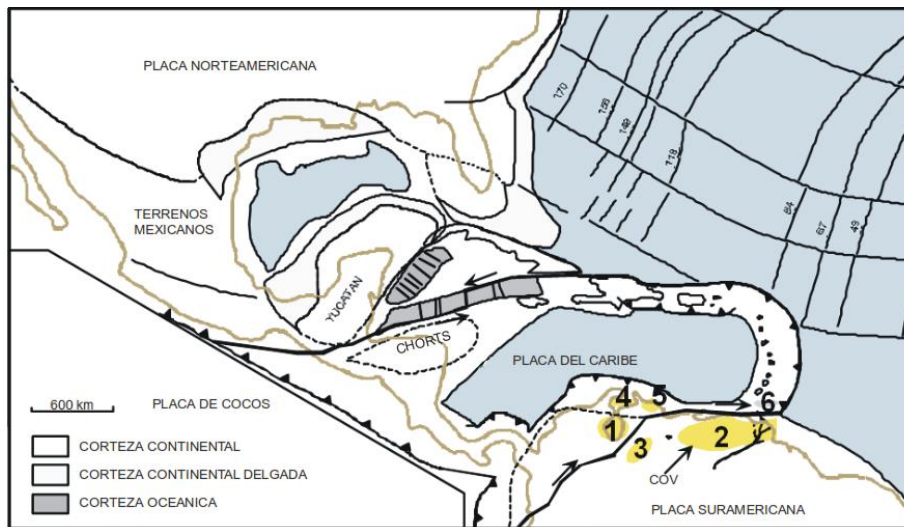


Figura 24. Escenario tectónico de la Cuenca Oriental de Venezuela, tipo ante - país, formada como el resultado de la colisión oblicua durante entre las placas Caribe y norte de Sur América. Tomado de Romero (2011).

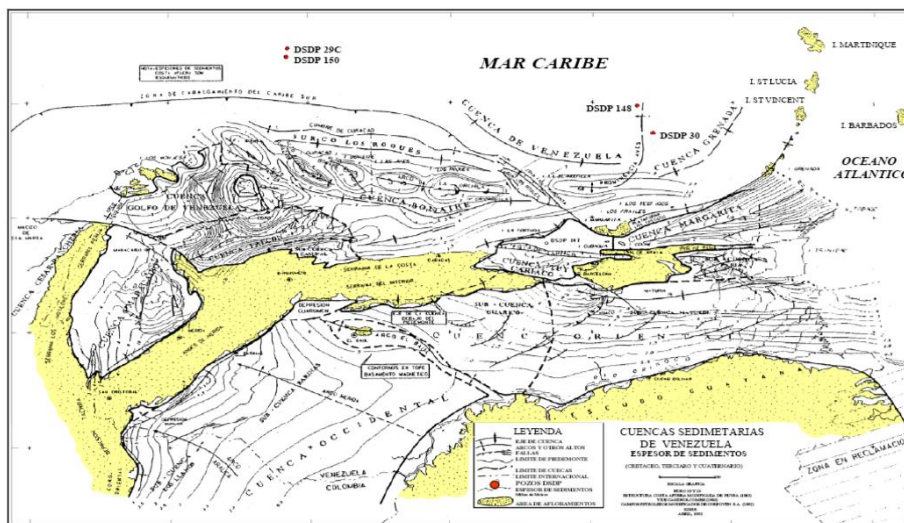


Figura 25. Cuencas Sedimentarias de Venezuela. Tomado de Mendoza (2005) y Fuentes (2006), mencionado por Romero (2011).

3.1.2.- Historia evolutiva de la cuenca oriental de Venezuela

González de Juana *et al.*, (1980), comenta que por haber estado desde el Paleozoico apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana, suaves movimientos de hundimiento y levantamiento de estos bordes ocasionaron

regresiones y transgresiones extensas, las cuales fueron de gran importancia para el desarrollo final de la mencionada cuenca.

Aunque la cuenca de Venezuela Oriental no mostró una forma similar a la actual sino después del Eoceno Tardío ni alcanzó su forma definitiva hasta el Mioceno Temprano, su historia se sitúa inicialmente desde tiempos del Devónico-Carbonífero (Paleozoico), hace unos 350 millones de años.

En este orden de ideas, durante este largo período se reconocen tres ciclos sedimentarios separados: el primero corresponde al Paleozoico Medio-Tardío al Tardío, el segundo que comienza durante el Cretácico Medio y se hace regresivo durante el Terciario Tardío y finalmente el tercero, el cual se desarrolló durante el mismo Terciario Tardío y fue definitivo para la configuración de la Cuenca Oriental de Venezuela en su estado actual (Romero, 2011)

3.1.2.1.- Resumen esquemático del proceso evolutivo de la cuenca

Romero (2011), explica de manera sintetizada los principales eventos geológicos que ocurrieron durante el proceso evolutivo de la Cuenca Oriental de Venezuela, las cuales, se explican a continuación:

. - *Paleozoico Tardío (Devónico - Carbonífero)*: De edad 320 – 250 Ma, durante este tiempo, comenta que ocurre la sedimentación de las formaciones Hato Viejo y Carrizal en una depresión pericratónica ubicada en el borde septentrional del Cratón de Guayana. Ambas unidades geológicas son consideradas transicionales.

. - *Evento Tectothermal Pérmico – Triásico u Orogénesis Herciniana*: De edad correspondiente 250 – 200 Ma, ocurre el levantamiento vertical del borde del Cratón de Guayana y la retirada general de los mares con dirección al norte. Inicio de un largo período de erosión. No se conoce actividad tectónica compresiva en la Cuenca de Venezuela Oriental propiamente dicha.

. - *Triásico – Jurásico (Mesozoico temprano)*: Acontece alrededor de los 220 – 160 Ma. Ocurren diversos procesos de actividad volcánica en el Macizo de El Baúl,

ubicada al límite occidental de la cuenca. Período de erosión sobre la mayor parte de la región.

. - *Cretácico Temprano (Barremiense - Aptiense - Albiense)*: Abarca los 120 - 115 Ma. Inicio de la transgresión cretácica en sentido norte a sur y desarrollada sobre la penillanura precretácica. Dicho evento es oscilante, abarcando grandes amplitudes, pero en todo caso se conservan ambientes más marinos hacia el norte y más continentales hacia el sur.

. - *Inicios del Cretácico Tardío (Cenomaniense - Coniaciense)*: Comprende los 100 - 85 Ma. Ocurre la máxima cobertura marina y desarrollo de ambientes euxínicos en el norte. En dirección al sur se extienden ambientes marino - costeros, gradualmente más terrígenos hacia su extremo meridional.

. - *Finales del Cretácico Tardío (Santoniense-Maestrichtiense)*: De edad comprendida entre los 85 - 65 Ma. Ocurre la sedimentación de lutitas marinas, algunas arenas finas e intervalos de fangos silíceos hacia el lado norte (Formación San Antonio). Al sureste se inicia la regresión marcada por las areniscas masivas (Formación San Juan) básicamente desde el Maestrichtiense, probablemente hasta el Paleoceno.

. - *Orogénesis del Final del Cretácico*: Ocurre entre los 80 - 65 Ma. Probablemente durante el Campaniense, fenómenos tectotermiales de importancia afectaron rocas mesozoicas en alguna parte del actual mar Caribe al norte de las costas actuales de Venezuela central y oriental, produciendo metamorfismo regional acompañado de intrusiones ácidas. Hacia el final del Cretácico las masas metamórficas fueron levantadas, bien como arcos de islas o en forma de cordillera.

. - *Inicios del Cenozoico (Paleoceno - Eoceno medio)*: Abarca los 65 - 45 Ma. Ocurre el levantamiento de las masas metamórficas, que delimitan al sur una extensa cuenca donde se depositaron sedimentos terciarios. Se extendía de sur a norte desde una línea de playa situada aproximadamente al sur de los campos

petrolíferos de Mulata-Santa Bárbara hasta no menos de 175 km hacia el norte, en regiones del mar Caribe actual.

La cuenca ancestral muestra durante el Paleoceno sedimentación de plataforma en el borde meridional, talud continental, que alcanzó más de 1000 m de paleopropundidad cerca de Casanay (edo. Sucre), y un surco turbidítico profundo más al norte de la actual costa venezolana.

Durante este período comienza el movimiento de las masas metamórficas hacia el sur, con el consiguiente empuje sobre la secuencia sedimentada en el borde cratónico. Gran parte de la sedimentación alóctona del surco de Guárico es consecuencia de este movimiento.

. - *Eoceno Tardío - Oligoceno Temprano*: Edad comprendida entre los 45 – 25 Ma. Hiatus post-Eoceno medio y levantamiento en la parte norte de la cuenca. Ocurre una sedimentación transgresiva en Guárico de la Formación La Pascua, de aguas someras procedentes de la cuenca de Barinas, seguida de un cuerpo lutítico de aguas marinas someras y tranquilas (Formación Roblecito)

Los procesos transgresivos progresan hacia el este y en la región de Barcelona, dichos eventos se encuentran sobre la Formación Caratas y por debajo de la Formación Los Jabillos del Oligoceno medio. Es probable que la Cuenca de Guárico y los mares existentes en el extremo oriental de Venezuela y en Trinidad estuvieran separados al comienzo de esta época por una extensión de tierras bajas y pantanosas, sugerido por la ausencia de sedimentación en el Eoceno Superior.

Hacia el sur se extiende al oeste la sedimentación arenoso-parálita de La Pascua y al este de las formaciones Los Jabillos, Areo y Naricual, reunida en La Formación Merecure, por debajo de la cual desaparece por acuífamiento el lente de lutita de Roblecito. Hacia el este se produce la sedimentación profunda, de mar abierto, de Carapita.

. - *Mioceno Temprano*: De edad ± 20 Ma. Se producen cambios fundamentales en la forma de la cuenca y en la distribución de los sedimentos. Desde el flanco norte de la cuenca hacia el sur se observa gradación entre las Formaciones Capiricual - Quiamare al norte y la Formación Oficina al sur. En la parte norte de Guárico la sedimentación se hace predominantemente continental.

Hacia el este la profundización de ambientes continúa determinando la sedimentación de la Formación Carapita. Durante este período el tectonismo adquiere especial importancia y se manifiesta con mayor intensidad en el flanco norte de la cuenca. Hacia la zona oeste la sedimentación original del surco paleoceno sufrió un desplazamiento tectónico hacia el sur de al menos 125 km producido por empujes de fuerte componente norte-sur.

Las Fajas de sobrecorrimientos llegan hasta el Corrimiento Frontal de Guárico, donde a las cuñas falladas anteriores se incorporan elementos depositados en la neocuenca eoceno - oligoceno - miocena.

. - *Mioceno Medio*: Ocurre hace ± 15 Ma. Se caracteriza por el continuo levantamiento de la parte nor-oriental de la cuenca, la cual, sigue inclinándose hacia el este. Sedimentación de la Formación Freites de ambiente marino somero en el flanco meridional. En el borde norte los mares transgreden ligeramente sobre la superficie erosionada de Carapita depositándose la sedimentación marina marginal de La Pica.

. - *Plioceno*: De aproximadamente 5 Ma., mientras los ambientes marinos continuaron retrocediendo hacia el este, extensos ambientes fluvio - deltaicos se establecieron sobre una gran parte de la cuenca; en ellos se sedimentó la Formación Las Piedras. Hacia el oeste, en el estado Anzoátegui y en el sur, en el subsuelo de los campos del área de Oficina y Temblador esta sedimentación recubre la litología marina somera de la Formación Freites.

3.1.2.2.- Análisis del proceso sedimentario

Los sedimentos más antiguos corresponden a la Formación La Pascua, generalmente arenosas y sin faunas diagnosticas de edad, seguida rápidamente por la Formación Roblecito, mayormente lutítica, en la cual, González de Juana *et al.* (1980) encontraron buenos indicios de faunas del Eoceno superior adicionalmente a los indicios de edad Oligocena.

De acuerdo con ello la Formación La Pascua y consecuentemente el inicio de la transgresión marina en la Cuenca de Oriente de Venezuela puede fijarse en el Eoceno superior (ver figura 26)

Todo ello permite sugerir que la Cuenca de Venezuela Oriental fue parcialmente alimentada desde el oeste por elevación del fondo de la Cuenca de Barinas y que esta altura ocasionó el desplazamiento hacia el este de los ambientes de la Formación Gobernador sobre el arco de El Baúl y su extensión en forma diacrónica (González de Juana *et al.*, 1980)

La invasión marina se extendió progresiva y diacrónicamente hacia el este y sureste durante el Oligoceno al Mioceno; por la parte centro - meridional en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas, Delta Amacuro y una pequeña parte de Sucre, con una extensión aproximada de 165.000 km del territorio nacional.

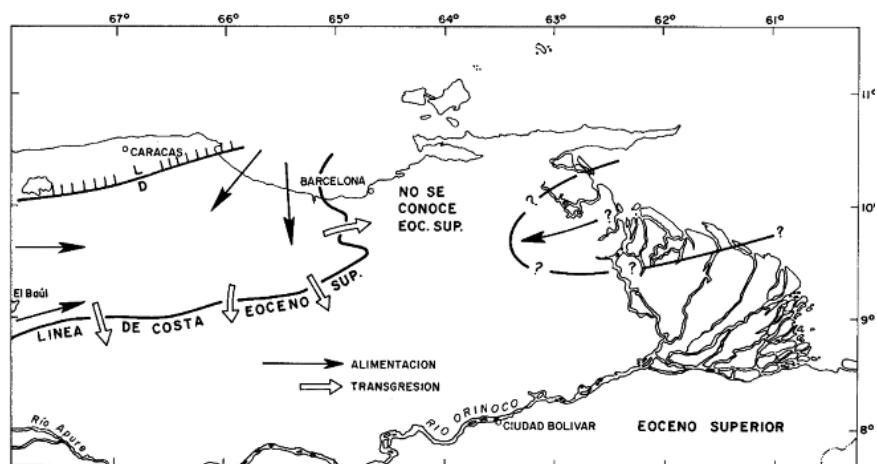


Figura 26. Paleogeografía del Eoceno superior en Venezuela Oriental. Tomado de González de Juana *et al.*, (1980)

La cuenca tenía forma de “U” abierta hacia el este; su flanco septentrional estuvo formado por una cordillera en proceso de levantamiento, mientras que el flanco meridional se desarrolló sobre una plataforma de aguas someras apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana, al cual se había incorporado la sedimentación peri-cratónica del Mesozoico.

En vista de lo anterior, como resultado de la presencia de estos dos elementos mayores la cuenca se inició asimétrica, con su zona axial situada hacia el norte, donde se acumuló el mayor volumen de sedimentos. Todo este cuerpo sedimentario presenta inclinación regional hacia el este, de forma que se considera que en la parte meridional de Trinidad la sedimentación excede 10 km, depositados en su mayoría a profundidades batiales (González de Juana *et al.*, 1980)

Los mencionados autores comentan que el esquema generalizado de los diversos procesos de sedimentación durante el Ciclo Terciario Superior en la Cuenca Oriental de Venezuela se ajusta bien a este modelo: ambientes predominantemente continentales a salobres, fluviodeltaicos, con grandes extensiones pantanosas y recurrencia de cortas invasiones marinas someras hacia el oeste y sobre la plataforma, representados por las Formaciones La

Pascua, Roblecito y Chaguaramas al oeste y la secuencia Merecure-Oficina-Freites sobre la plataforma; intervalos francamente marinos profundo en la zona axial: Formaciones Areo y Carapita y sedimentos marginales de aguas someras, localmente pantanos litorales, intervalos conglomeráticos y hacia su tope, ambientes continentales en el borde sur de la Cordillera: Formaciones Naricual, Quiamare, Chaguaramas, Quebradón, etc. (ver figura 27)

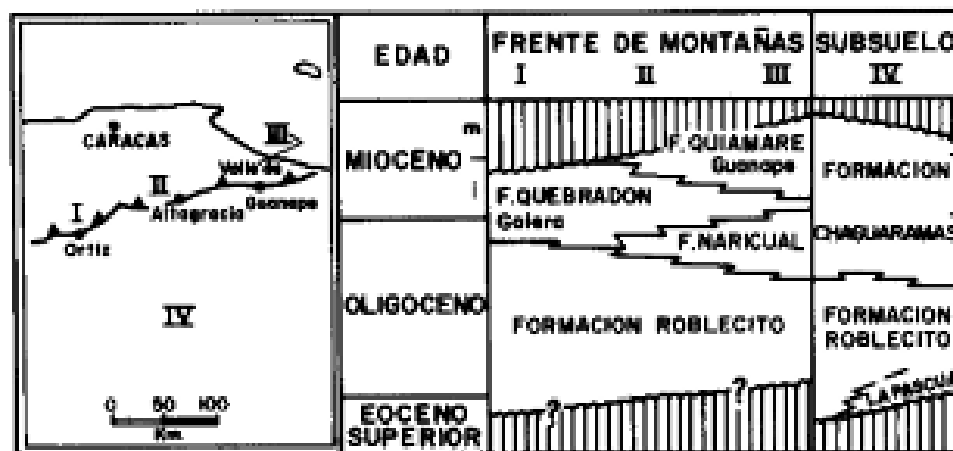


Figura 27. Cuadro de nombres y correlaciones de las unidades litoestratigráficas del Oligoceno Medio en el frente de las montañas de Guárico. Tomado de González de Juana *et al.*, (1980)

3.2.- GEOLOGÍA REGIONAL

3.2.1.- Estratigrafía regional

3.2.1.1.- Formación Roblecito

Consideraciones históricas: González de Juana *et al.* (1980); suministraron una descripción breve de la "lutita de Roblecitos". Posteriormente, Patterson y Wilson (1953) definen como "Formación Roblecito" al conjunto de lutitas, ubicados en el subsuelo de los llanos de Guárico. Autores posteriores aceptaron esta nueva unidad, pero en sus recopilaciones sobre la cuenca del Guárico correlacionaron erróneamente las lutitas de Roblecito y areniscas de La Pascua, infrayacentes,

con las lutitas de Quebradón y areniscas de Naricual, expuestas hacia el norte. Luego fue rectificado por Quarfoth y Caudri (1961)

Localidad tipo: Subsuelo del campo de Las Mercedes, estado Guárico. Es importante destacar que no se designó pozo tipo. La toponimia se presume es derivado de la población de Roblecito, la cual, queda cerca del mencionado yacimiento petrolífero.

Descripción litológica: Patterson y Wilson (1953), mencionado por González de Juana *et al.* (1980); estipulan que dicha unidad estratigráfica se compone principalmente de lutitas marinas de color gris oscuro a negro con pequeñas intercalaciones de materiales granulares.

Extensión geográfica: Se presenta en el subsuelo en la mayor parte de la Cuenca de Guárico y aflora en el sector noroccidental. Así mismo se conocen afloramientos interrumpidos en la zona de corrimientos (Complejo de Chacual) del frente de montañas de la mencionada entidad.

Espesor: Las lutitas de la Formación Roblecito forman una gran cuña sedimentaria, la cual, aumenta de espesor hacia el norte-noreste. Patterson y Wilson (1953) mencionan un espesor aproximado de 2100 metros (~7.000 pies) a través de la cuenca.

Contactos: Transicional diacrónico con areniscas transgresivas infrayacentes (Formación La Pascua), areniscas regresivas suprayacentes (Formación Chaguaramas del subsuelo y formaciones Naricual y Quebradón de la superficie. Las zonas de contacto se identifican por la interdigitación de arena y lutita. En el frente de montañas la formación es concordante sobre la Formación Peñas Blancas. En todos los afloramientos conocidos, su tope está muy truncado por la erosión.

Edad: El estudio de Bell (1968), por medio del estudio micropaleontológico sobre foraminíferos determina la edad de dicha formación geológica, la cual va desde Eoceno superior al Oligoceno.

Correlación: Estratigráficamente la Formación Roblecito tiene mucho en común con la Formación Areo de los estados Monagas y Anzoátegui. Sin embargo, ésta es más delgada y pertenece al Oligoceno en su totalidad, por lo cual corresponde únicamente a la porción flanco arriba de la Formación Roblecito. Hacia el norte de la cuenca, unidad se correlaciona hacia el sur con facies más someras, representadas por las partes superior de la Formación La Pascua e inferior de la Formación Chaguaramas.

3.2.1.2.- Sedimentos recientes (aluvión del cuaternario)

Padrón (2011) comenta que el tope geológico de la región de los llanos se ve representada por depósitos aluvionales recientes compuestos de arcillas, limos, arenas y gravas, discordantes por encima de las rocas infrayacentes, ocultando así posibles accidentes estructurales del subsuelo. Se extienden horizontalmente en toda la cuenca, a manera de manto delgado de espesor irregular desde el borde inferior de las montañas circunvecinas. Sus fuentes de aporte de sedimento son la Serranía del Interior y el Macizo de Guayana (más hacia el sur).

3.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Bell (1968), mencionado por González de Juana *et al.* (1980) comenta en su publicación que la región de Guárico Occidental existe una serie de pliegues suaves en el piedemonte al sur del Corrimiento Frontal de Guárico.

Estos pliegues son anticlinales y sinclinales de ejes paralelos a subparalelos al eje central de la serranía, las cuales son generalmente con doble declive y flancos suaves. Entre los más visibles son los de Taguay, Lezama y Barbacoas. González de Juana *et al.* (1980) mencionan que algunos han sido perforados con fines de explotación de hidrocarburos con poco éxito. La zona en estudio se encuentra ubicado en el flanco noroeste del Anticlinal de Barbacoas, cuyo eje estructural posee un rumbo aproximado de N65°E. Es una provincia de relieve muy bajo y es enteramente autóctona. (González de Juana *et al.* 1980)

3.4.- ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Según López y otros (2015), la zona en estudio consiste colinas y planos con coberturas cuaternarias ocupando un área aproximada de 4.395 km² de los llanos centrales de los estados Guárico y Anzoátegui. Este paisaje ha sido originado por el desmantelamiento y la remoción de la Formación Mesa, persistiendo apenas unos delgados remanentes localizados. Constituyen una superficie de denudación (erosión) plana a ondulada, donde predominan pendientes entre 1 y 12%, correspondiendo las pendientes mayores a lomas y colinas muy bajas. Localmente, esta superficie ha sido disectada, encontrándose colinas con desniveles de hasta 40 m, pendientes que llegan a superar 25% y áreas fuertemente erosionadas por cárcavas. Este paisaje se encuentra cortado por valles coluvio-aluviales, aflorando las formaciones del Terciario con predominio de lutitas en gran parte del área. Además, existe un predominio marcado de sedimentos arcillosos en su parte media y profunda, lo cual sugiere que esta planicie se formó por desborde de sedimentos finos, aportados por los ríos Paya y Guárico. La planicie se encuentra afectada en su mayor parte por excesos de agua originados por la acumulación de lluvia y esorrentía local.

3.5.- ZONIFICACIÓN SÍSMICA

Según la Norma Sísmica Venezolana COVENIN 1756-1:2001, el área de estudio se encuentra ubicada en la Zona Sísmica 3. Se estipula que la aceleración máxima horizontal del terreno expresada en función de la gravedad es de $A_0 = (\varphi) 0,20 \text{ g}$, siendo “ φ ” un factor de corrección para el coeficiente de aceleración horizontal. El factor “ φ ” se define en función de las características del subsuelo. Basándose en los resultados de la exploración geotécnica, se estima que el área asociada al proyecto presenta una forma espectral de diseño S1, que corresponde a suelos duros o densos, a los cuales puede asignárseles un factor “ φ ” de 0,80. De lo anterior resulta un valor de $A_0 = 0,20 \text{ g}$, el cual es de gran importancia a tomar en cuenta a la hora de realizar el diseño sismorresistente de estructuras.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.- GENERALIDADES

Las propiedades geomecánicas de los suelos, tales como el tamaño del grano, plasticidad, resistencia, densidad, etc.; pueden ser determinadas mediante apropiadas pruebas de laboratorio. Estos parámetros ayudan a conocer lo que está por debajo de la superficie a estudiar y así determinar sus propiedades ingenieriles y diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, presas y centrales hidroeléctricas. Acciones en la rama vial como la estabilización de taludes, diseño y construcción de túneles y carreteras, diseño y construcción de cualquier tipo de estructura de contención para la prevención de riesgos geológicos, entre otros.

Es importante destacar a manera general que las bases de datos y los reportes de los resultados de los ensayos de laboratorio están ubicados en la sección de anexos.

4.2.- GEOLOGÍA LOCAL

Debido a la baja topografía de la zona y a la inexistencia de afloramientos cercanos, la caracterización geológica local se sustentó en base a la información obtenida a partir de las muestras obtenidas de las perforaciones realizadas en el sector y a los registros de los sondeos.

La zona en estudio se encuentra ubicada al suroeste de la población de El Sombrero, en la confluencia de los ríos Guárico y Paya, abarcando un área en forma de cuña triangular cuyas coordenadas de en formato Universal Transverse Mercator (UTM), están referidas en la Tabla 1.

El perfil litológico del subsuelo en el sector investigado consiste en una sección de rocas sedimentarias, de origen marino, depositadas al comienzo del periodo Eoceno sobre su basamento de rocas cretácicas durante el ciclo transgresivo de

Terciario Superior. La sección consiste en lutitas marinas de color marrón a marrón claro grisáceo, pertenecientes al tope de la unidad litológica de la Formación Roblecito.

En este orden de ideas, las capas de lutitas generalmente aparecen recubiertas por mantos de arcillas de consistencia dura, de alta plasticidad, de color marrón rojizo a marrón oscuro que en la zona investigada presentan espesores variables entre dos (2) y cuatro (4) metros y en algunas ocasiones también con material granular (arenas y gravas limpias e intercaladas con limos); producto de los procesos de inundación de los afluentes cercanos (ríos Paya y Guárico principalmente)

Desde el punto de vista sedimentológico y geomecánico, la zona en estudio se divide en 4 estratos definidos de la siguiente manera:

1. “ARCILLA I”: La cual comprende desde los 0.00 hasta los 5.00 metros de profundidad principalmente. Litológicamente se compone de materiales finos cohesivos (Arcillas de alta y de baja plasticidad limosas de colores claros mayormente) de consistencia compacta a dura (CL y CH)
2. “MATERIAL GRANULAR”: Ubicado desde los 5.00 hasta los 10.00 metros de profundidad principalmente. Se compone primordialmente de suelos granulares no cohesivos (Arenas de diversos tamaño de grano con grava y graves arenosas de diámetro variado limpias y limosas). Este material se presume es debido al aporte sedimentos provenientes de los ríos Guárico y Paya mayormente (SM, SP, GP, GM)
3. “ARCILLA II”: Comprendido desde los 10,00 a los 13,00 – 15,00 metros de profundidad primordialmente. Compuesta litológicamente por arcillas de baja y alta plasticidad limosas de consistencia compacta a muy dura, de colores marrón oscuro a marrón claro grisáceo (CL y CH)
4. “LUTITA”: Ubicada principalmente después de los 13,00 – 15,00 metros de profundidad. Litológicamente consiste en Lutitas descompuestas carbonáticas de color marrón oscuro a marrón claro grisáceo de la

Formación Roblecito. Se clasifica de acuerdo a lo propuesto por Salcedo (1969) como una Roca Descompuesta blanda (RDb) y Roca Meteorizada blanda (RMb) comúnmente. Desde el punto de vista de campo, se asume cuando los valores de S.P.T. (*Standard Penetration Test*) superan los 60 – 70 golpes/pie o cuando se recurrió a rotación para continuar el sondeo.

Los perfiles geológico – topográficos y mapas en donde son diferenciados estas secciones geomecánicas están ubicados en la sección de anexos.

4.3.- CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

4.3.1.- DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

Se realizó el análisis de Difracción de Rayos X (DRX) sobre 19 muestras representativas pertenecientes a las perforaciones ejecutadas en la zona de estudio. Las muestras se sometieron mediante el análisis de roca total, empleando un difractómetro marca Philips modelo “step scanning”: PW 3020 (ver figura 11) para así identificar la mineralogía existente, la cual se realizó en el Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de Rayos X de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Universidad Central de Venezuela. Las muestras analizadas mediante la técnica de difracción de rayos X se indican en la Tabla 6.

Los resultados de la mineralogía en muestra total, producto del análisis de DRX arrojaron un total de siete variables mineralógicas:

1. Cuarzo
2. Caolinita
3. Illita
4. Dickita
5. Nacrita
6. Halloysita

7. Goethita

Tabla 6. Muestras analizadas mediante la técnica de DRX

Perforación	Muestra	Profundidad (m)
BH – 3	12	11,55 - 12,00
BH – 8	14	13,55 - 14,00
BH – 10	18	17,55 - 18,00
BH – 11	20	19,55 - 20,00
BH – 12	14	13,55 - 14,00
BH – 13	17	16,55 - 17,00
BH – 14	14	13,55 - 14,00
BH – 15	4	3,55 - 4,00
BH – 16	3	2,55 - 3,00
BH – 17	3	2,55 - 3,00
BH – 19	5	4,55 - 5,00
BH – 21	11	10,55 - 11,00
BH – 22	14	13,55 - 14,00
BH – 25	13	12,55 - 13,00
BH – 26	8	7,55 - 8,00
BH – 27	5	4,55 - 5,00
BH – 30	3	2,55 - 3,00
BH – 32	9	8,55 - 9,00
BH – 34	19	18,55 - 19,00

A continuación, se detalla a manera de resumen en la Tabla 7 los minerales presentes en cada muestra analizada:

Tabla 7. Cuadro resumen de los minerales encontrados mediante la técnica de Difracción de Rayos – X (DRX)

Perforación	Muestra	Profundidad (m)	Difracción de Rayos - X (DRX) Mineral - Fórmula
BH - 3	12	11,55 - 12,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 8	14	13,55 - 14,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 10	18	17,55 - 18,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Nacrita Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
BH - 11	20	19,55 - 20,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Halloysita Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ Goethita FeO(OH)
BH - 12	14	13,55 - 14,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 13	17	16,55 - 17,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Dickita Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ , Goethita FeO(OH)
BH - 14	14	13,55 - 14,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 15	4	3,55 - 4,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 16	3	2,55 - 3,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
BH - 17	3	2,55 - 3,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 19	5	4,55 - 5,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
BH - 21	11	10,55 - 11,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
BH - 22	14	13,55 - 14,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 25	13	12,55 - 13,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 26	8	7,55 - 8,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Dickita Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
BH - 27	5	4,55 - 5,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Nacrita Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
BH - 30	3	2,55 - 3,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 32	9	8,55 - 9,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)
BH - 34	19	18,55 - 19,00	Cuarzo SiO ₂ , Caolinita Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄ , Illita KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ , Goethita FeO(OH)

Cabe destacar que para una mayor comprensión se detallan a continuación los difractogramas de cada muestra donde se indican los resultados arrojados por el equipo de difracción de rayos X.

4.3.1.1.- Perforación BH – 3 muestra 12

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 3, muestra 12. En la figura 8 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. El análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita y goethita.

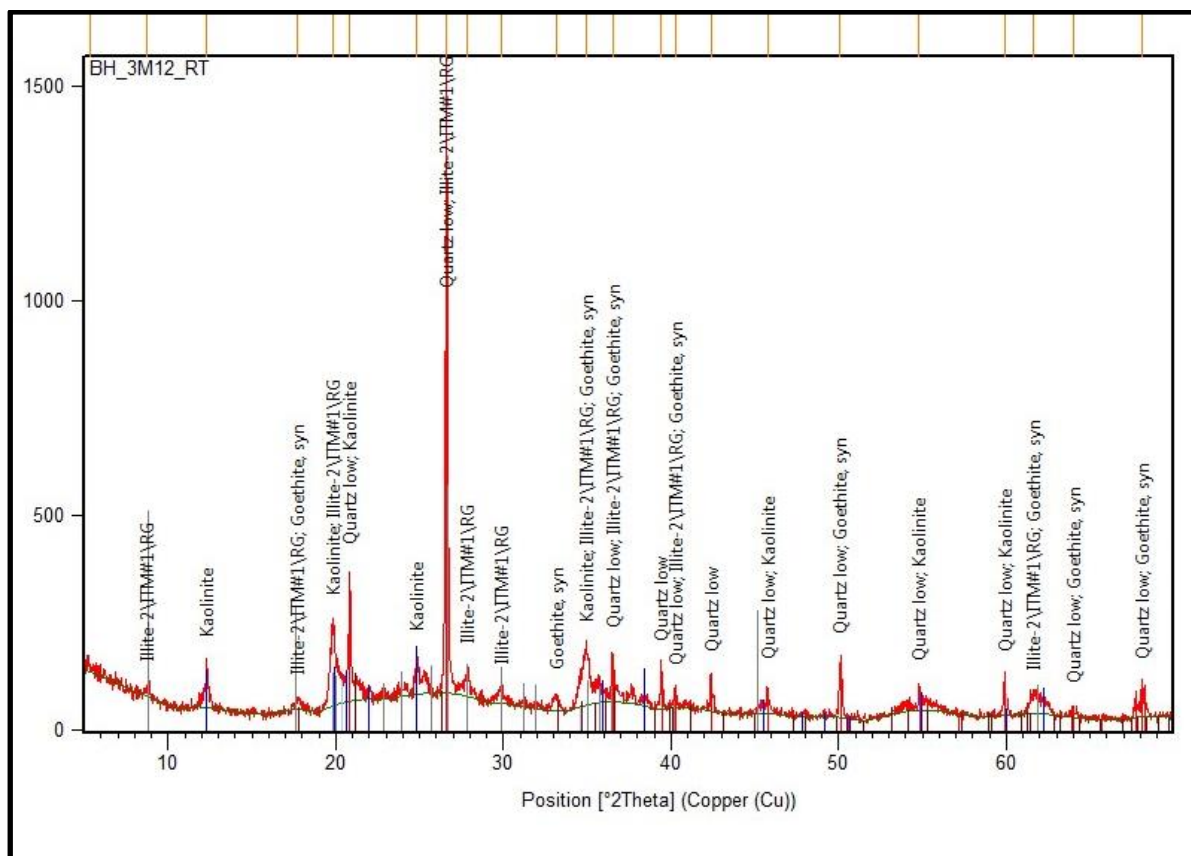


Figura 28. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 3, muestra 12.

4.3.1.2.- Perforación BH – 8 muestra 14

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 8, muestra 14. En la figura 29 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita y goethita.

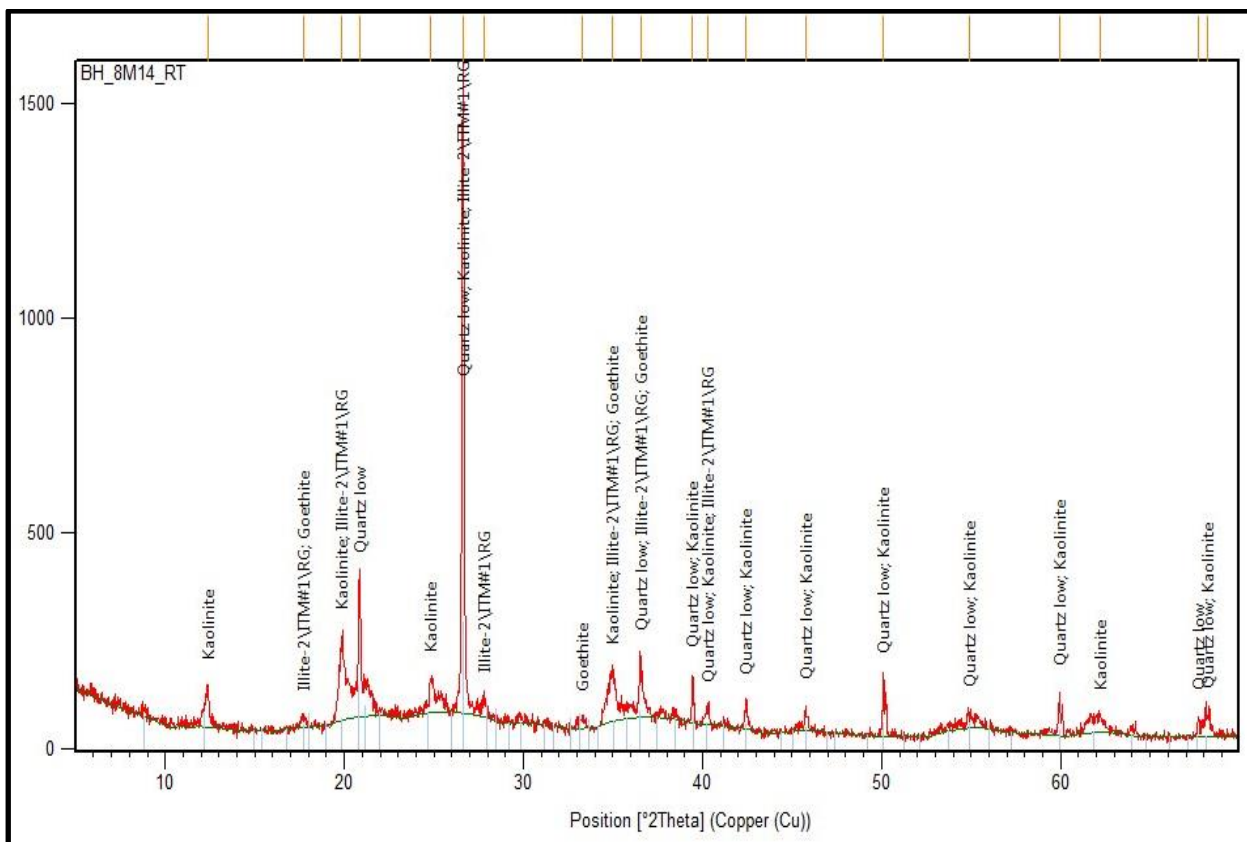


Figura 29. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 8, muestra 14.

4.3.1.3.- Perforación BH – 10 muestra 18

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 10, muestra 18. En la figura 30 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX de denota la presencia de cuarzo y caolinita y nacrita.

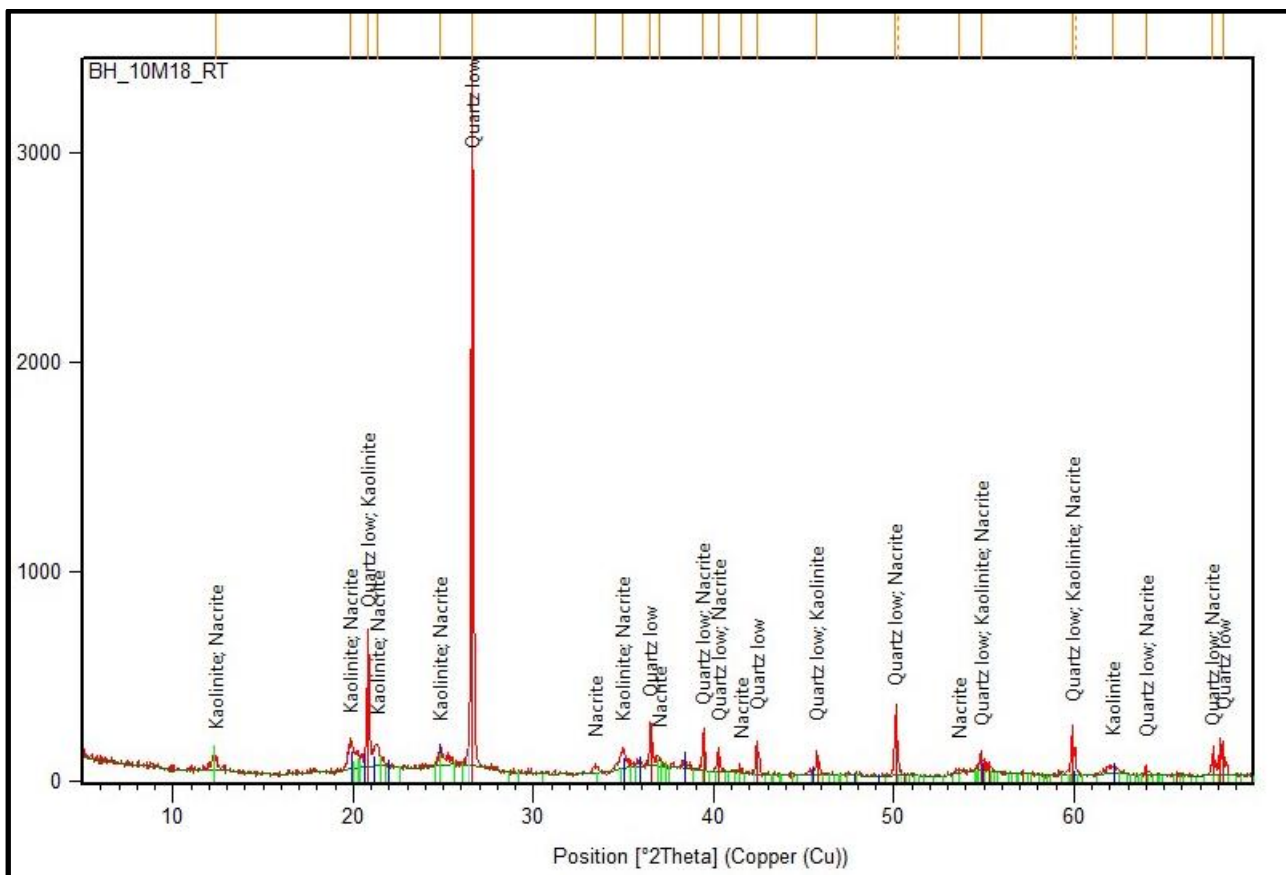


Figura 30. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 10, muestra 18.

4.3.1.4.- Perforación BH – 11 muestra 20

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 11, muestra 20. En la figura 31 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, halloysita, illita y goethita.

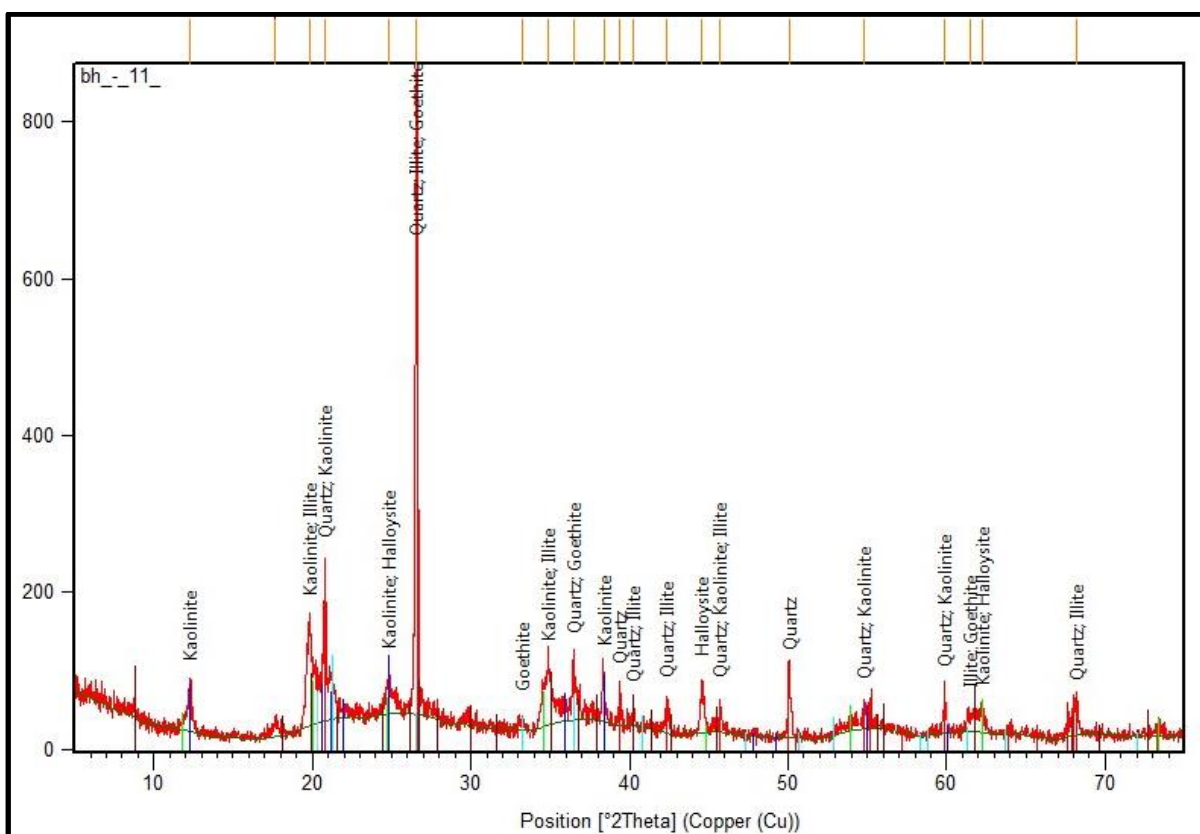


Figura 31. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 11, muestra 20.

4.3.1.5.- Perforación BH – 12 muestra 14

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 12, muestra 14. En la figura 32 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita-montmorillonita y goethita.

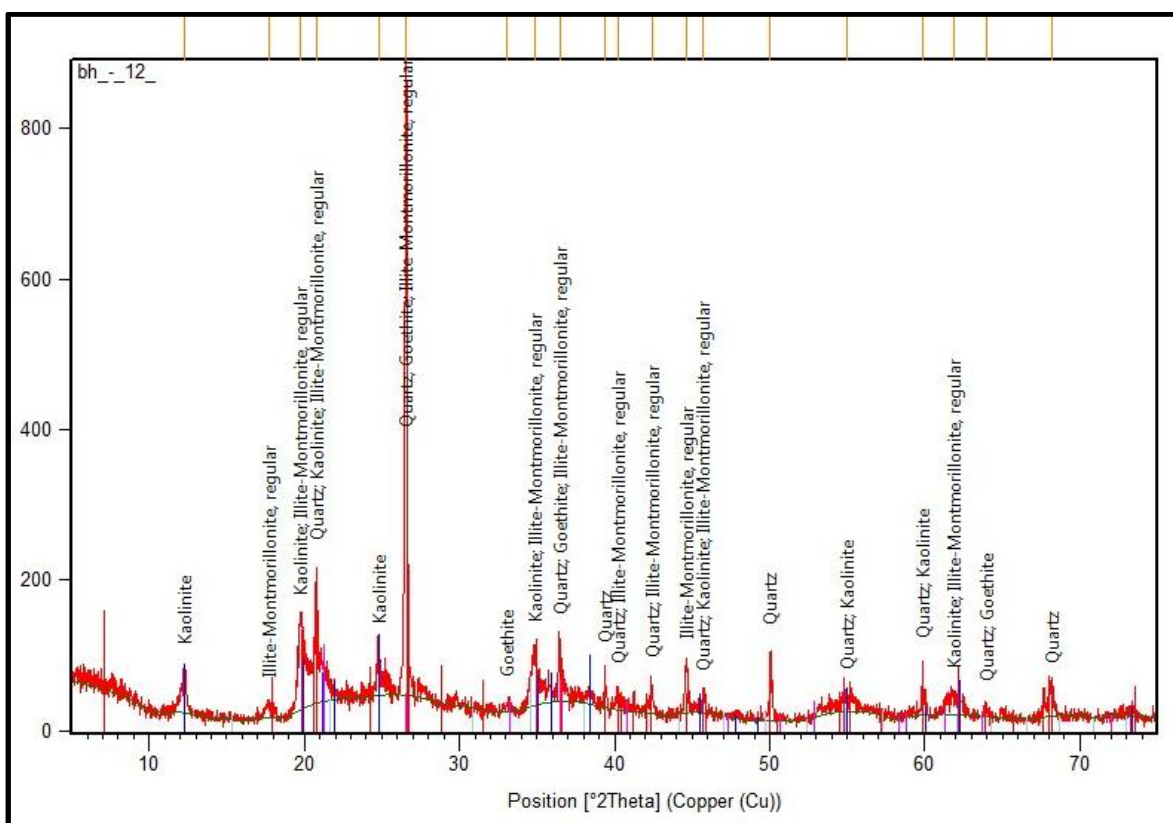


Figura 32. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 12, muestra 14.

4.3.1.6.- Perforación BH – 13 muestra 17

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 13, muestra 17. En la figura 33 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita, dickita y goethita.

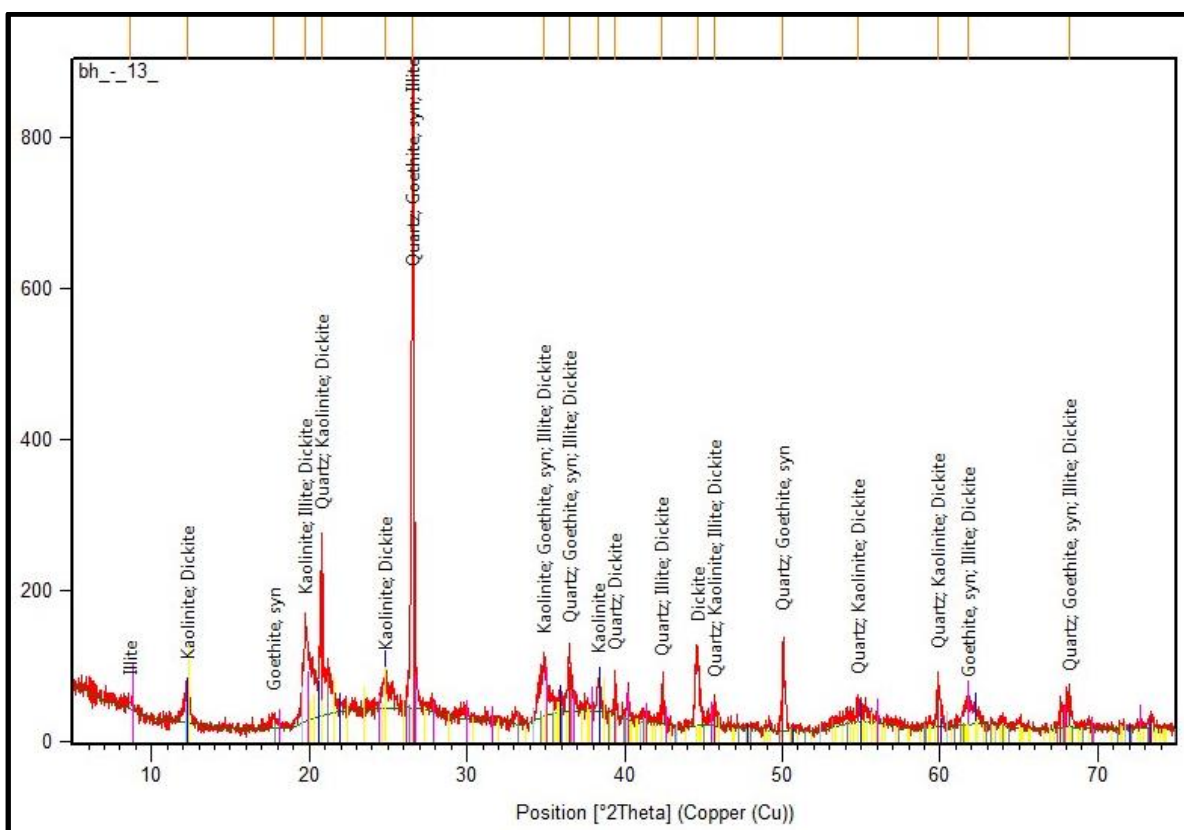


Figura 33. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 13, muestra 17.

4.3.1.7.- Perforación BH – 14 muestra 14

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 14, muestra 14. En la figura 34 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita, y goethita.

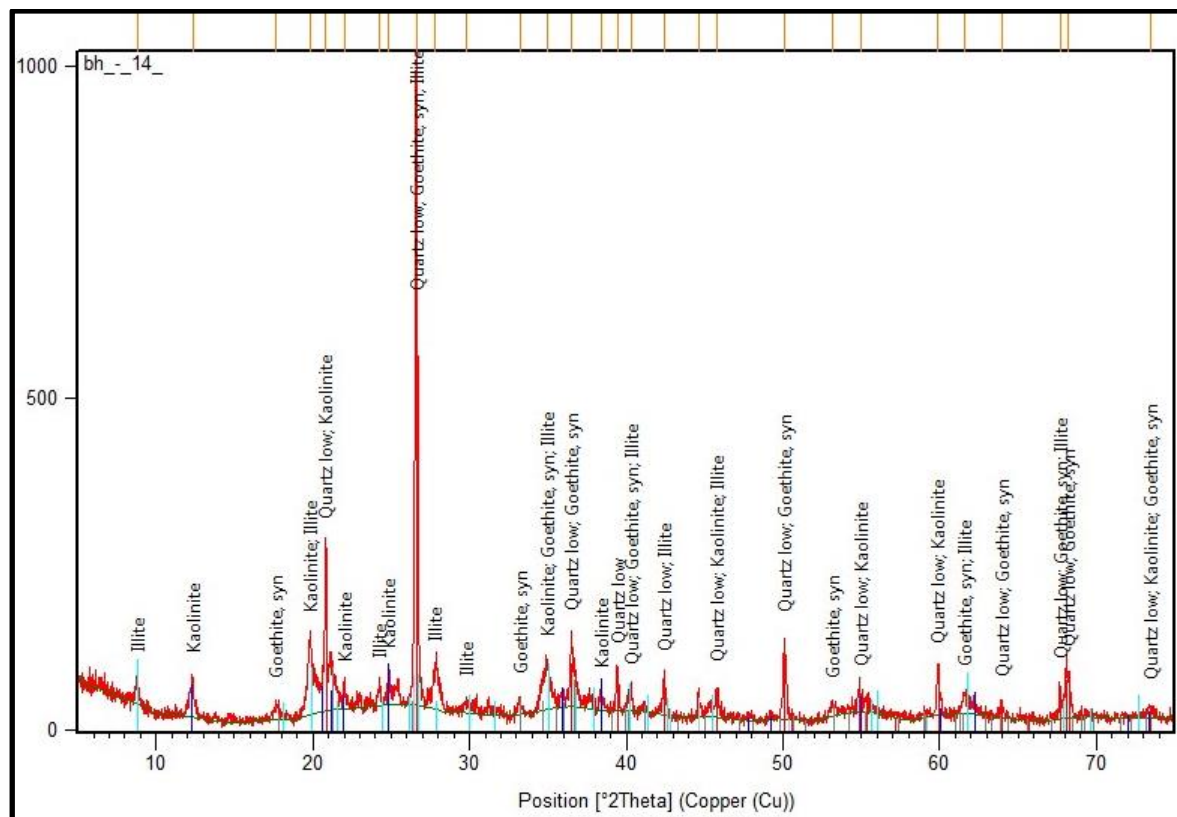


Figura 34. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 14, muestra 14.

4.3.1.8.- Perforación BH – 15 muestra 4

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 15, muestra 4. En la figura 35 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita, y goethita.

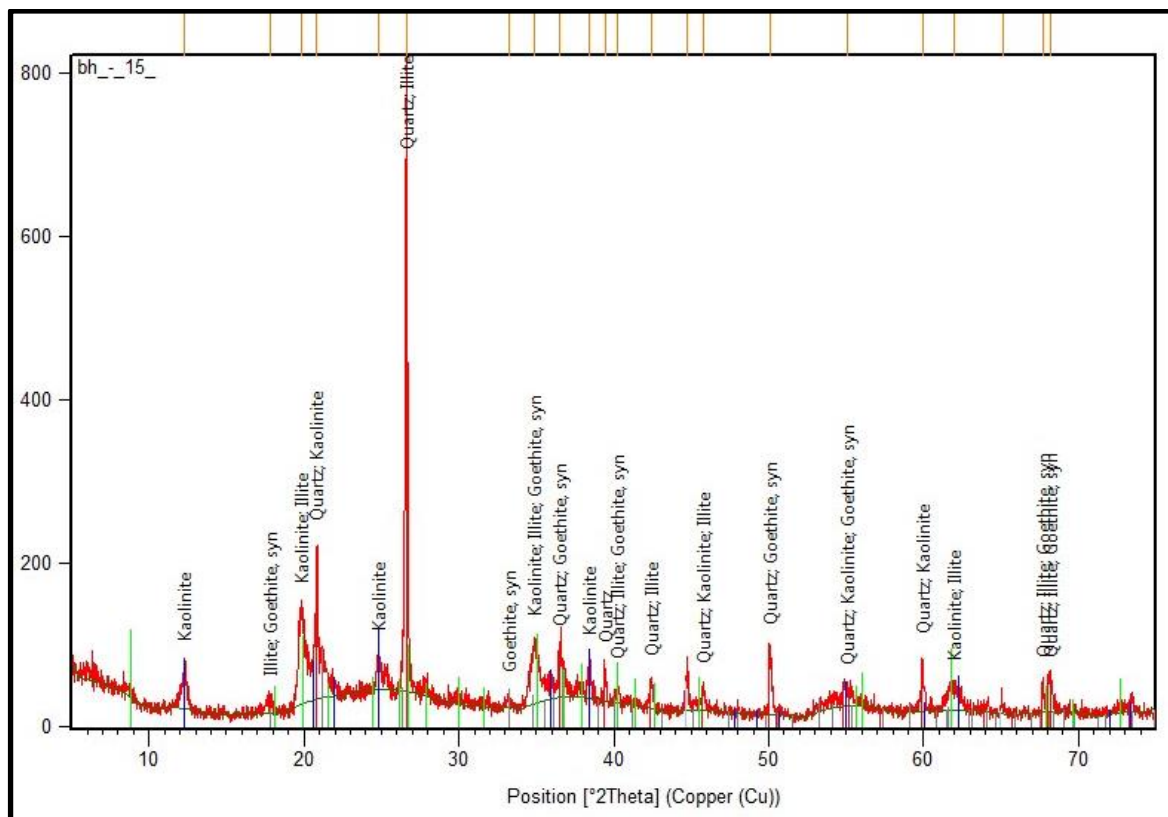


Figura 35. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 15, muestra 4.

4.3.1.9.- Perforación BH – 16 muestra 3

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 16, muestra 3. En la figura 36 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita e illita.

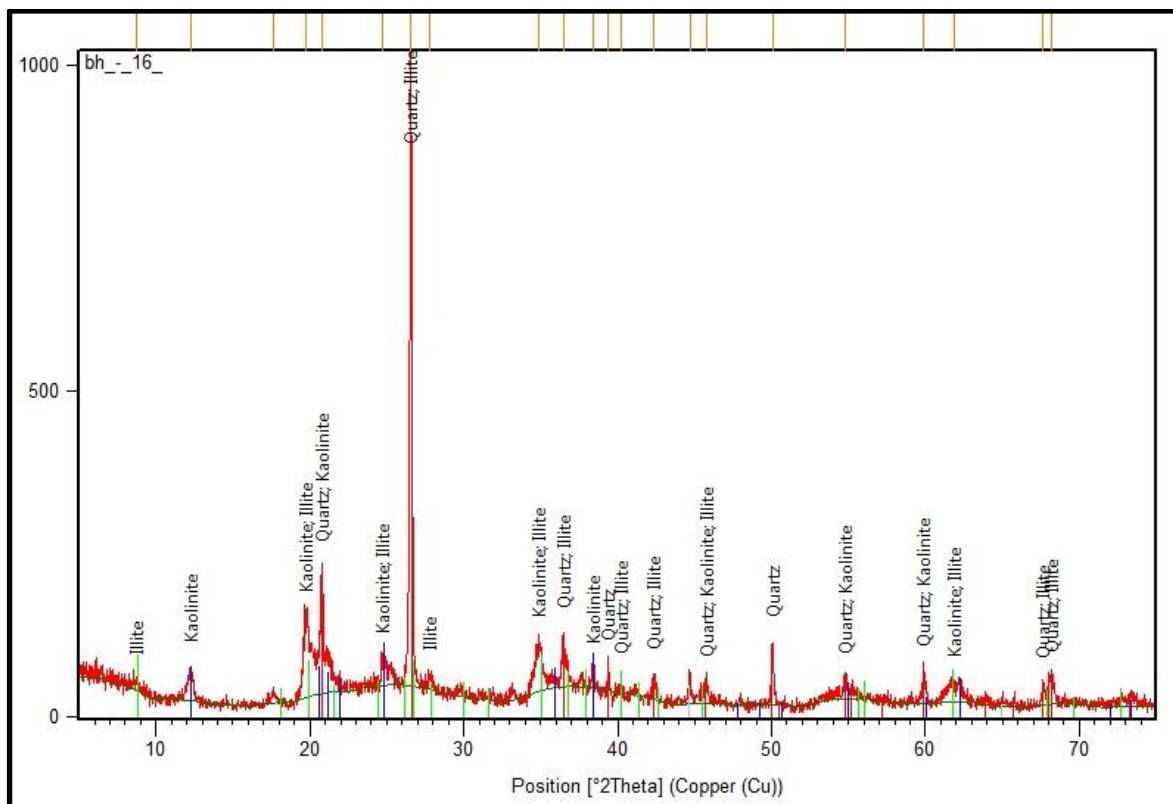


Figura 36. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 16, muestra 3.

4.3.1.10.- Perforación BH – 17 muestra 3

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 17, muestra 3. En la figura 37 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita y goethita

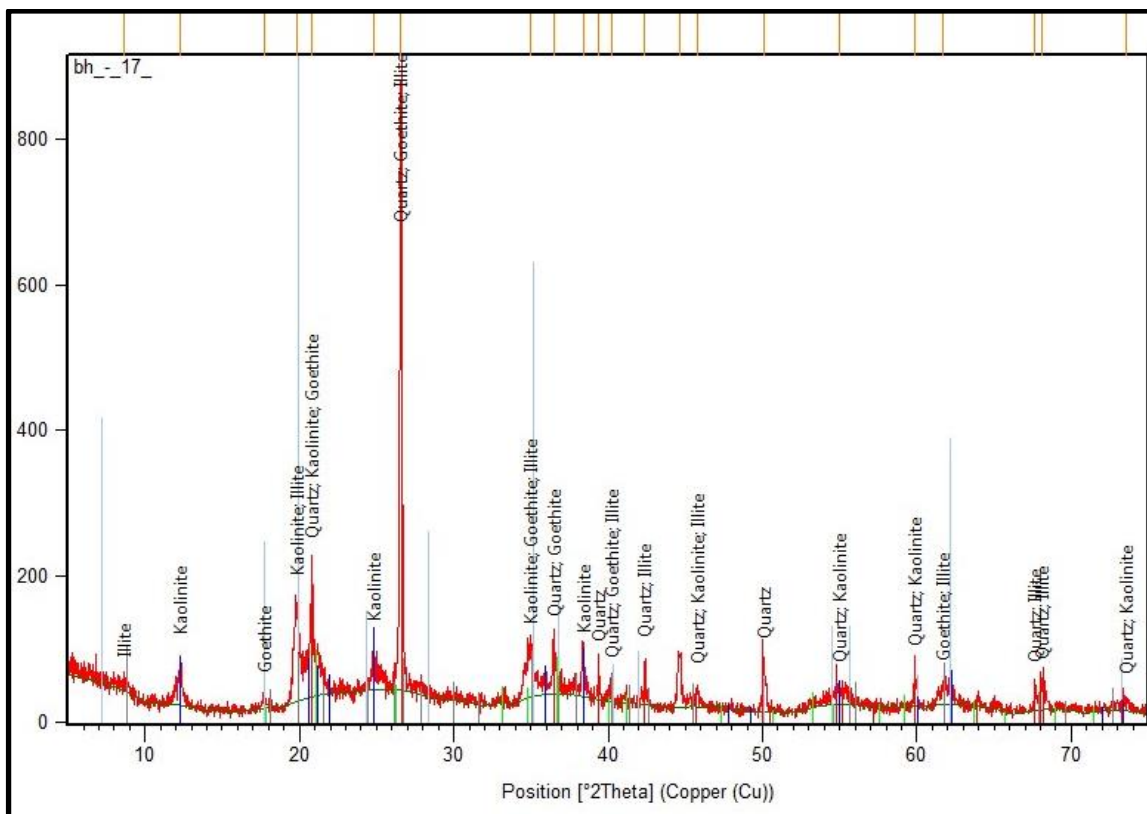


Figura 37. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 17, muestra 3.

4.3.1.11.- Perforación BH – 19 muestra 5

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 19, muestra 5. En la figura 38 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita e illita.

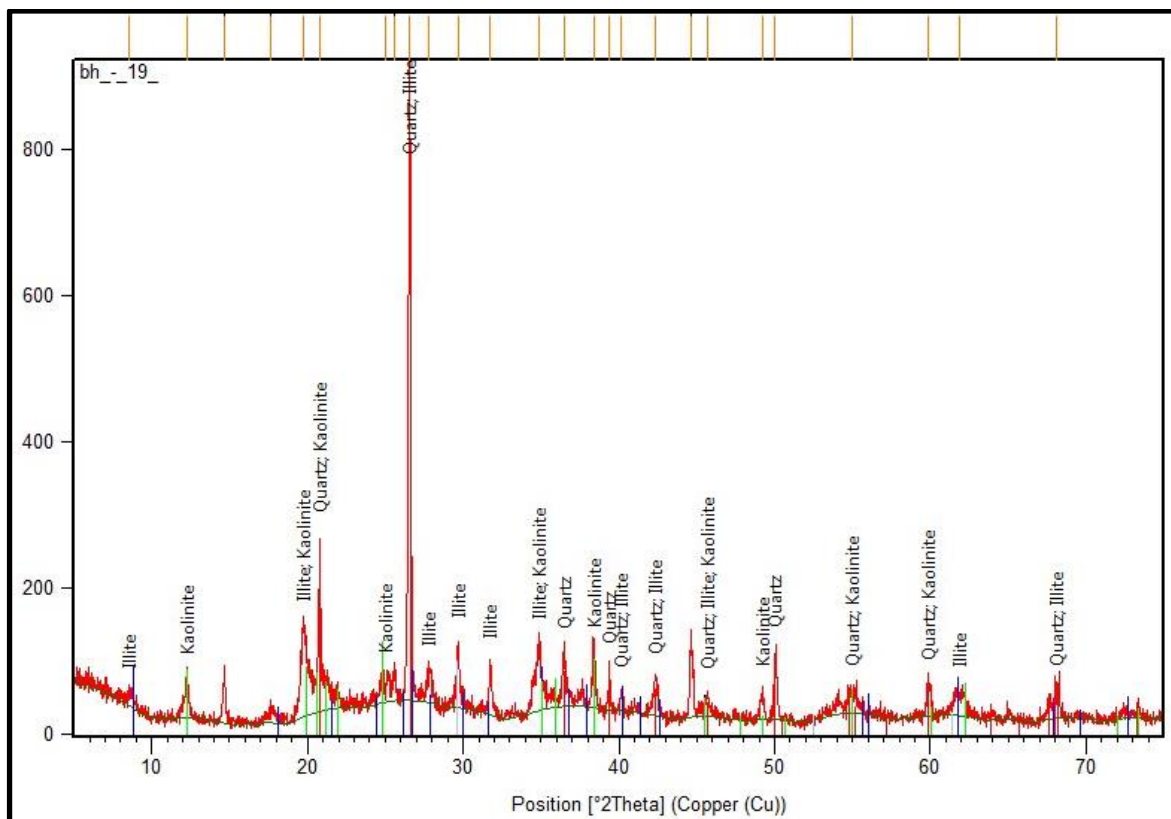


Figura 38. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 19, muestra 5.

4.3.1.12.- Perforación BH – 21 muestra 11

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 21, muestra 11. En la figura 39 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita e illita.

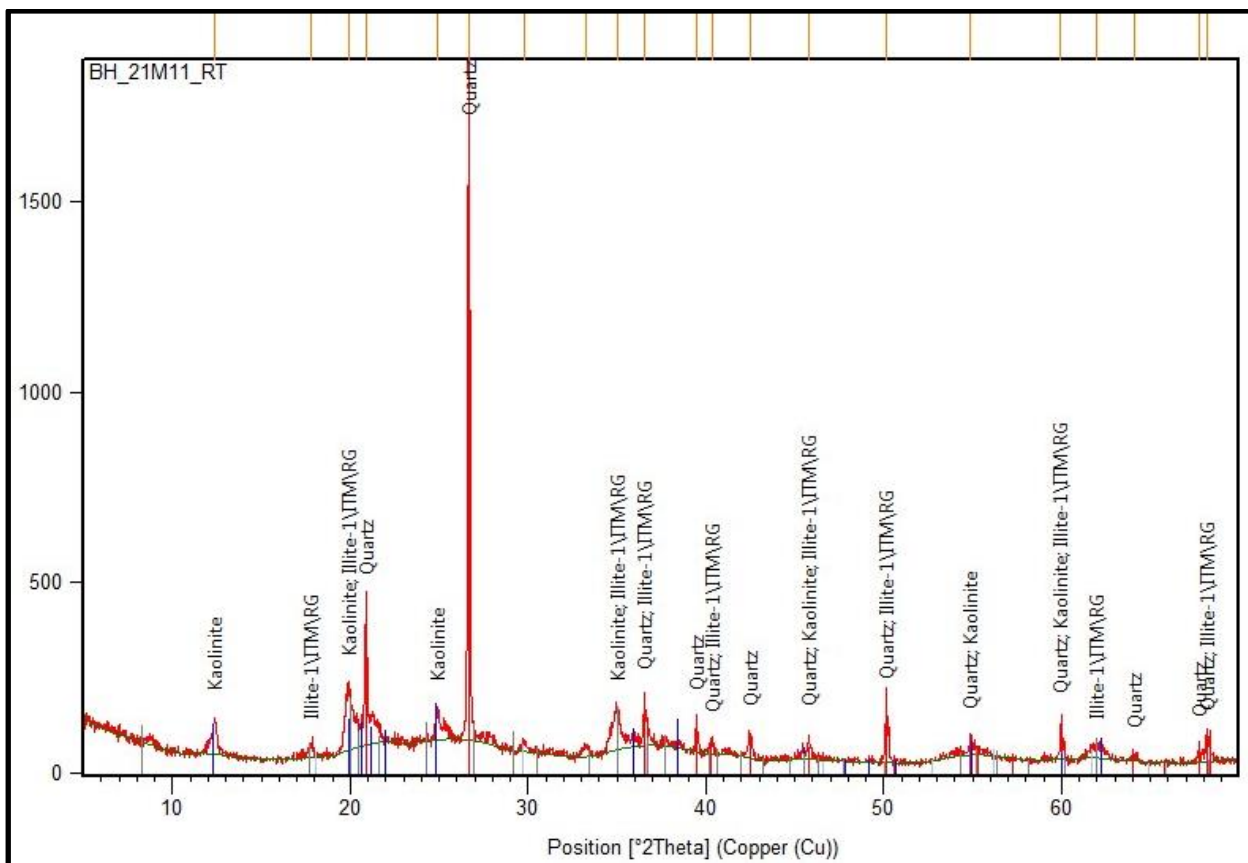


Figura 39. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 21, muestra 11.

4.3.1.13.- Perforación BH – 22 muestra 14

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 22, muestra 14. En la figura 40 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita y goethita.

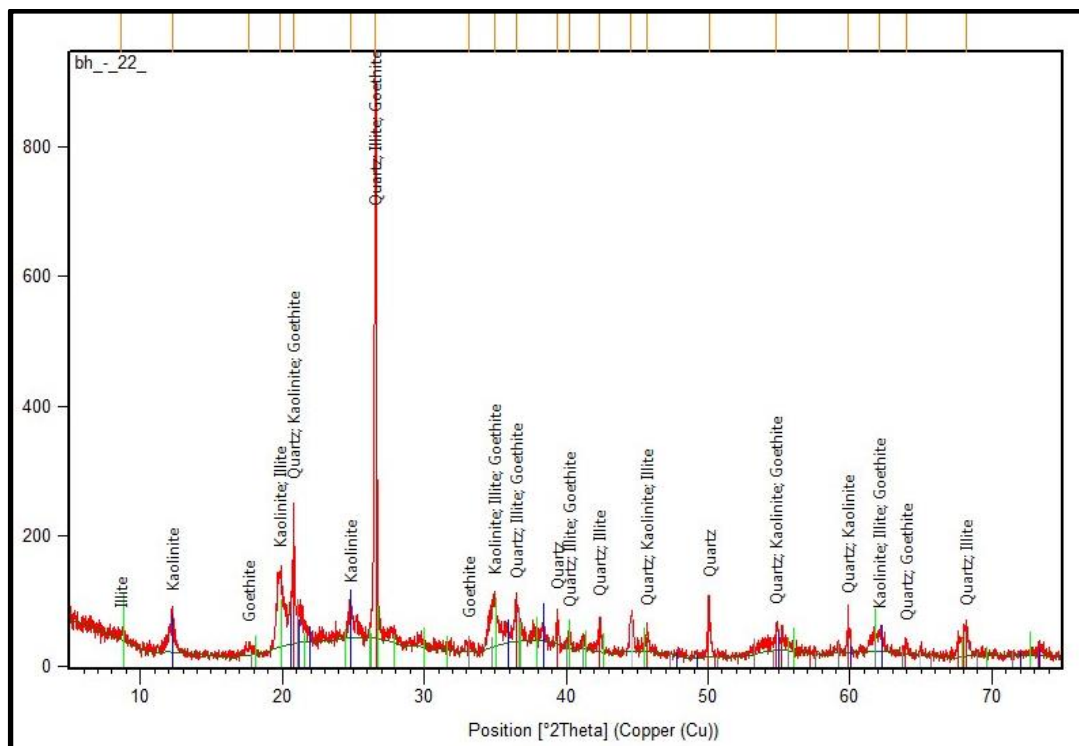


Figura 40. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 22, muestra 14.

4.3.1.14.- Perforación BH – 25 muestra 13

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 25, muestra 13. En la figura 41 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita y goethita.

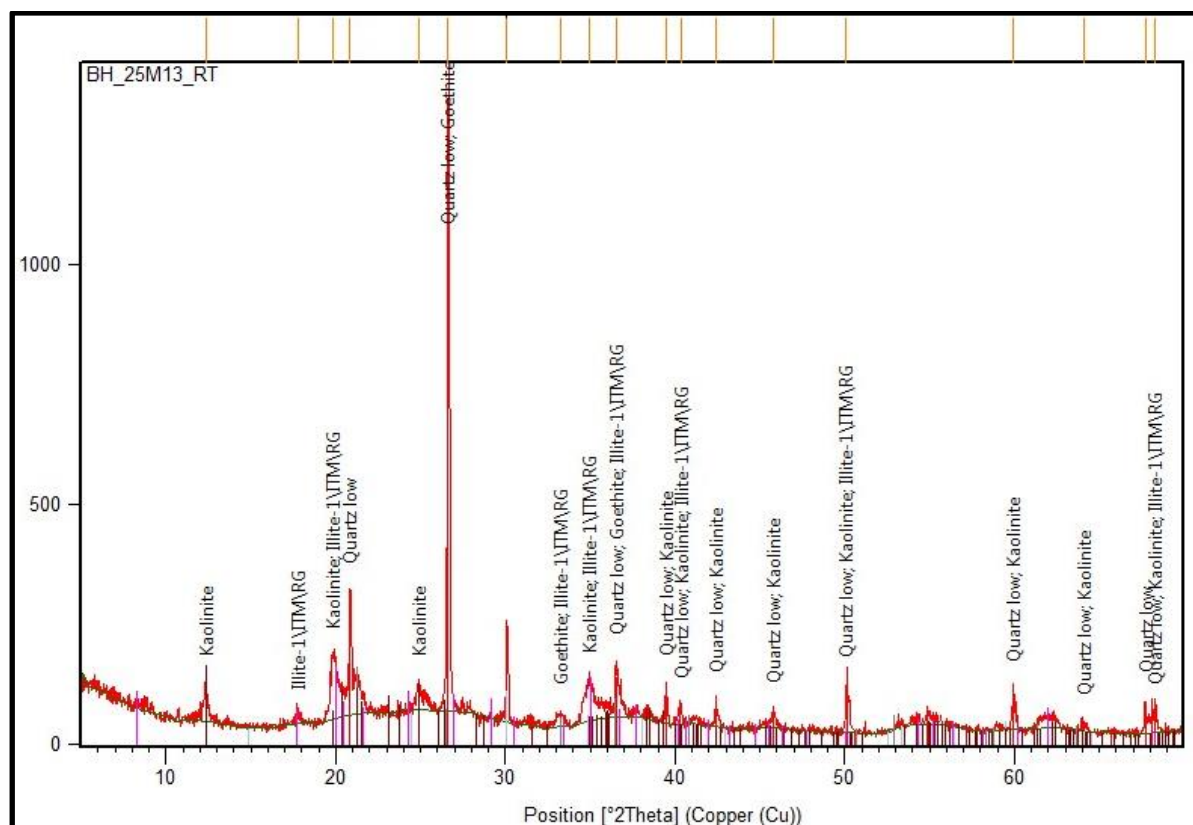


Figura 41. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 25, muestra 13.

4.3.1.15.- Perforación BH – 26 muestra 8

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 26, muestra 8. En la figura 42 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita dickita.

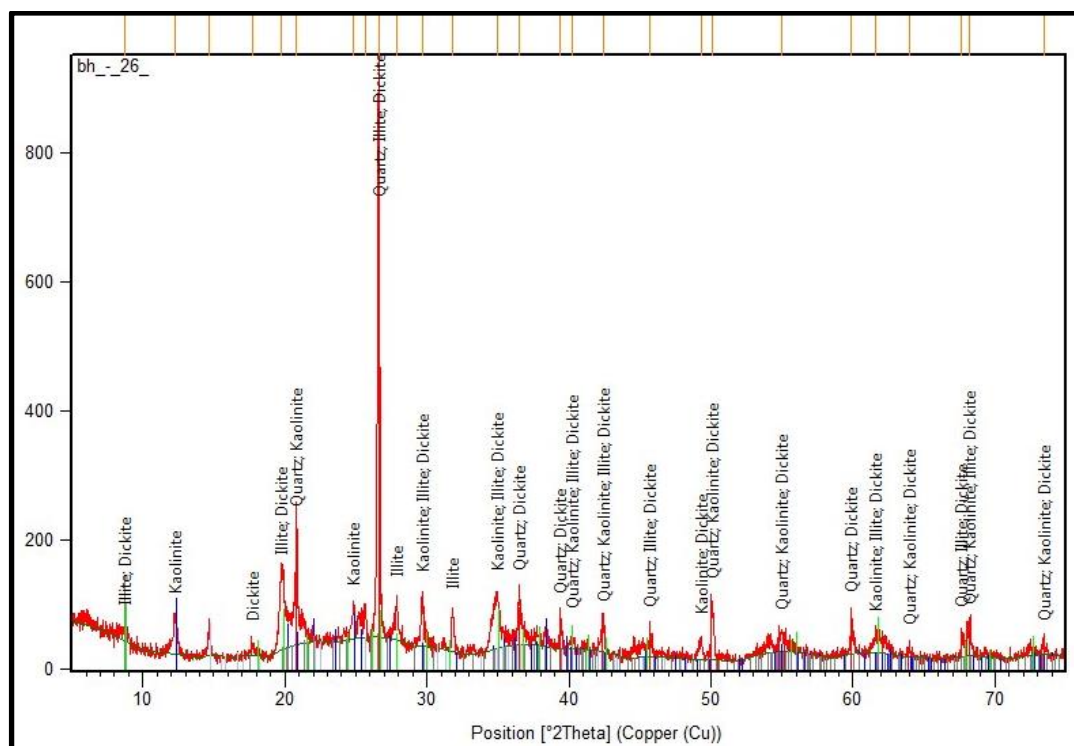


Figura 42. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 26, muestra 8.

4.3.1.16.- Perforación BH – 27 muestra 5

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 27, muestra 5. En la figura 43 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita y nacrita.

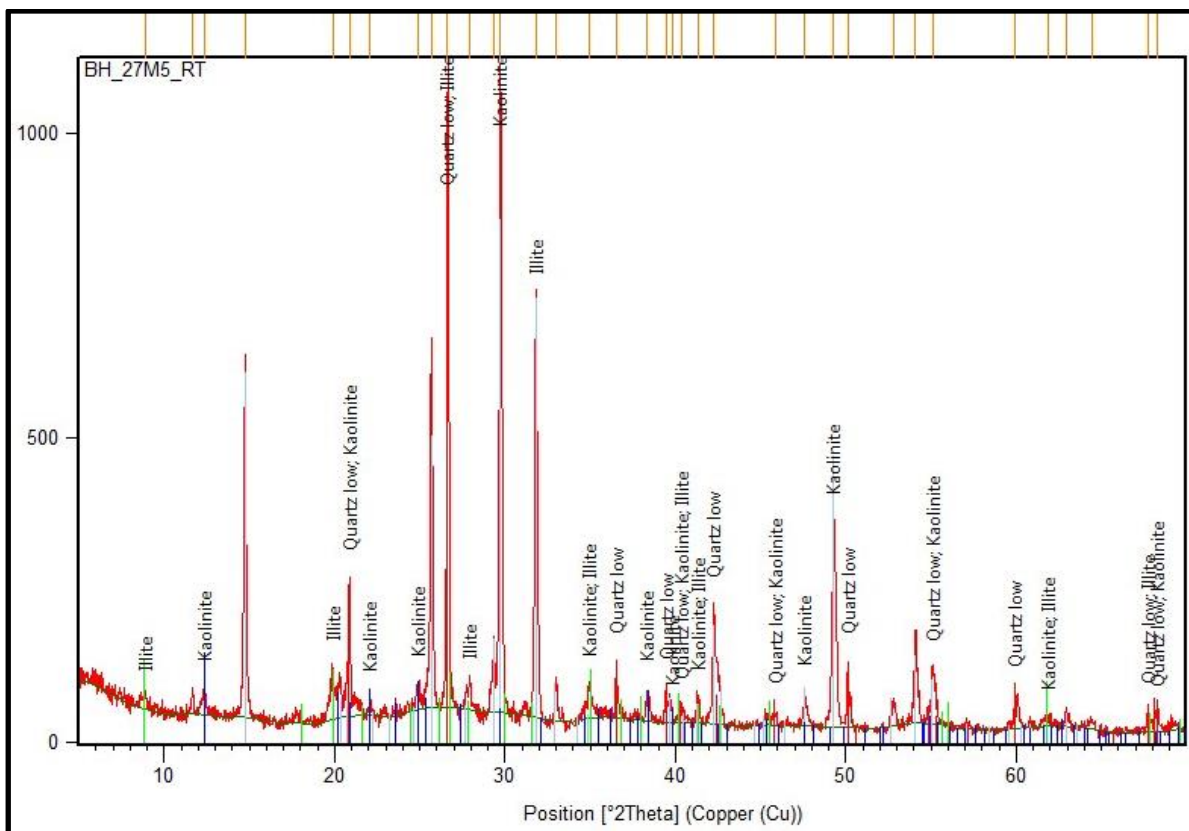


Figura 43. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 27, muestra 5.

4.3.1.17.- Perforación BH – 30 muestra 3

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 30, muestra 3. En la figura 44 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita y goethita.

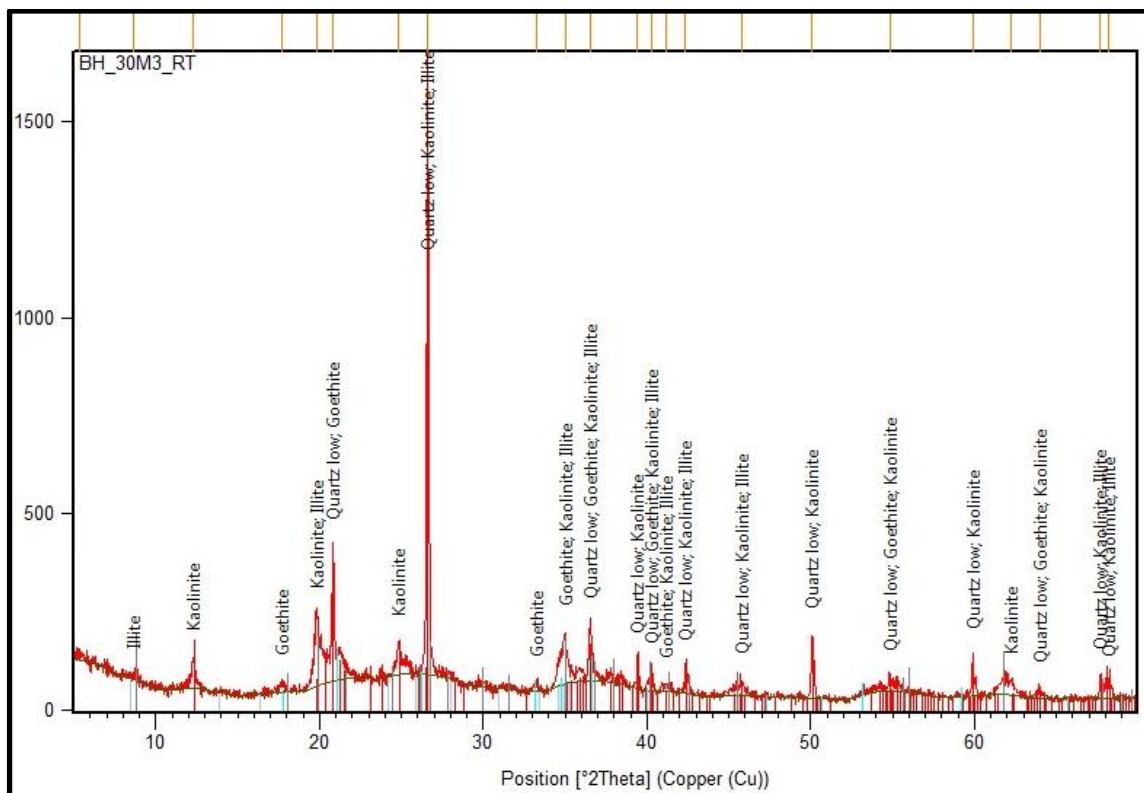


Figura 44. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 30, muestra 3.

4.3.1.18.- Perforación BH – 32 muestra 9

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 32, muestra 9. En la figura 45 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita, y goethita.

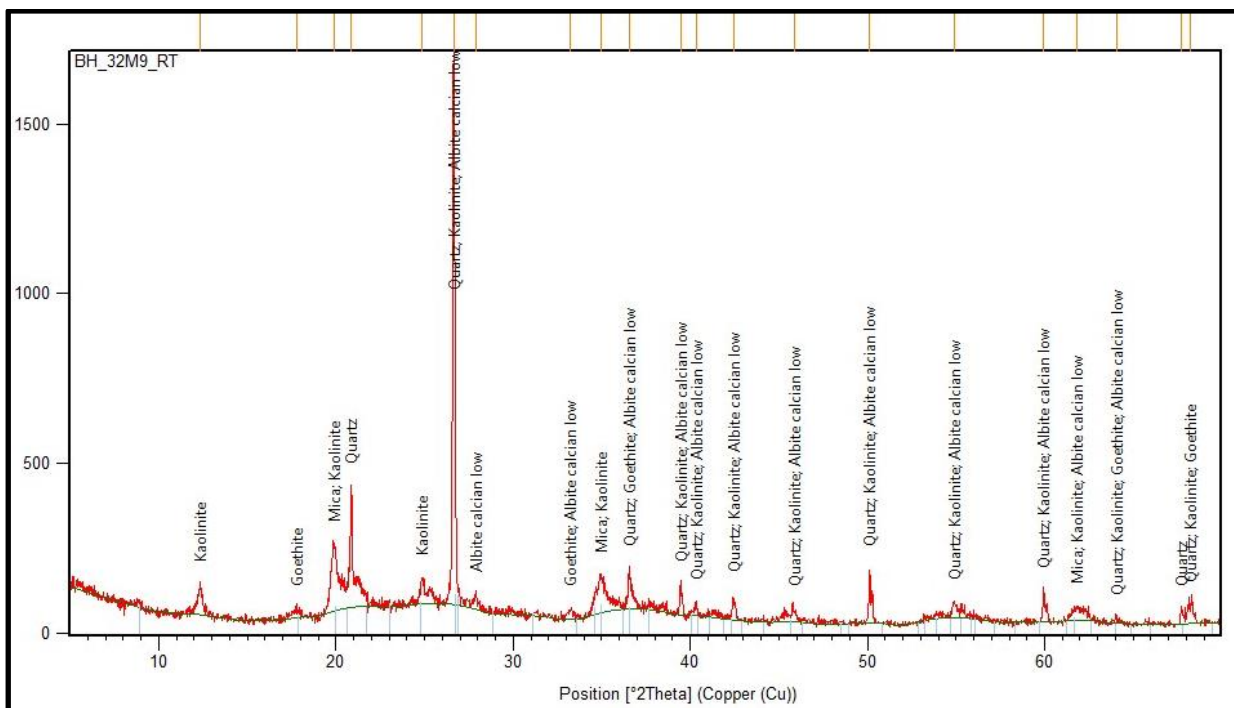


Figura 45. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 32, muestra 9.

4.3.1.19.- Perforación BH – 34 muestra 19

En la sección de anexos contiene el perfil con la ubicación de la perforación BH – 34, muestra 19. En la figura 46 se encuentran los resultados arrojados por el difractómetro de los minerales encontrados. Al igual que el anterior difractograma, el análisis de DRX denota la presencia de cuarzo, caolinita, illita, y goethita.

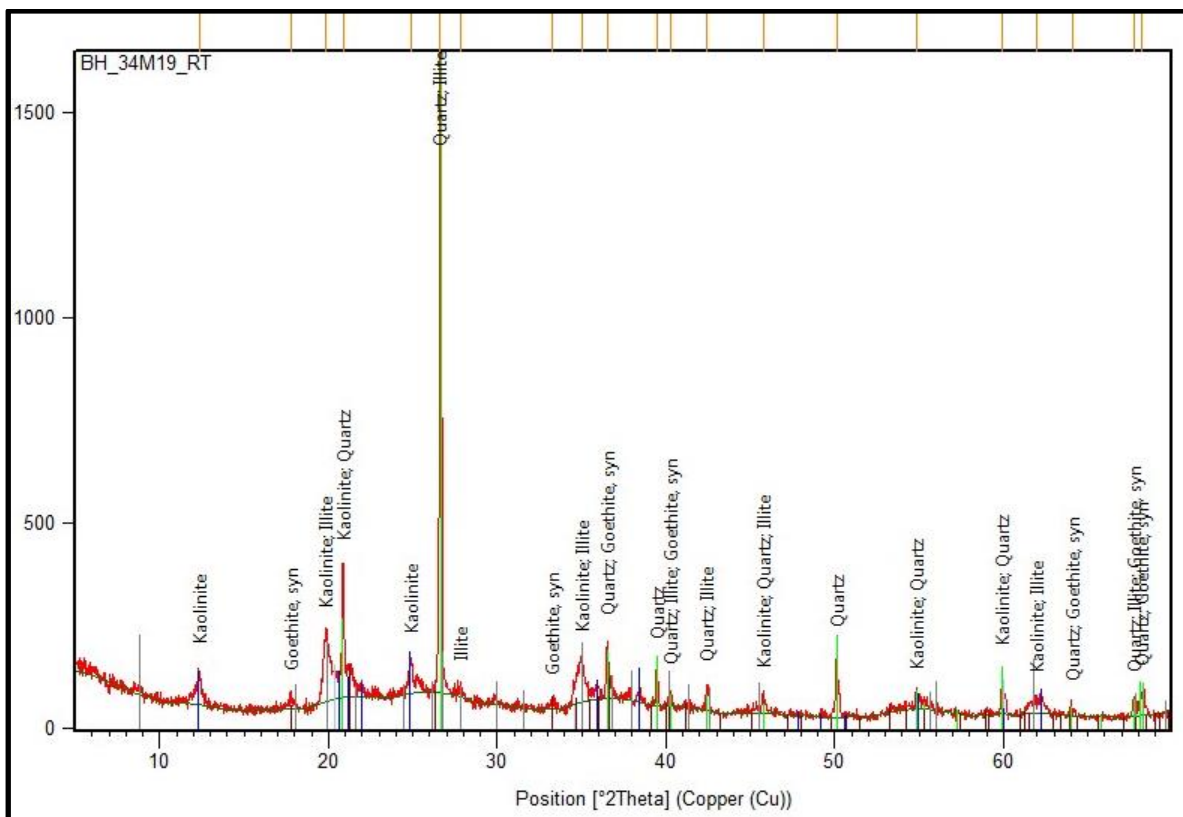


Figura 46. Difractograma correspondiente a la perforación BH – 34, muestra 19.

En rasgos generales, en la gráficas de barras mostrada en la figuras 47 y 48 encontramos una proporción mayoritaria de los minerales en las muestras seleccionadas en orden de magnitud de mineral de cuarzo, caolinita, illita, goethita y menor cantidad Nacrita, Dickita y Halloysita; detectados estos últimos por difracción de rayos X.

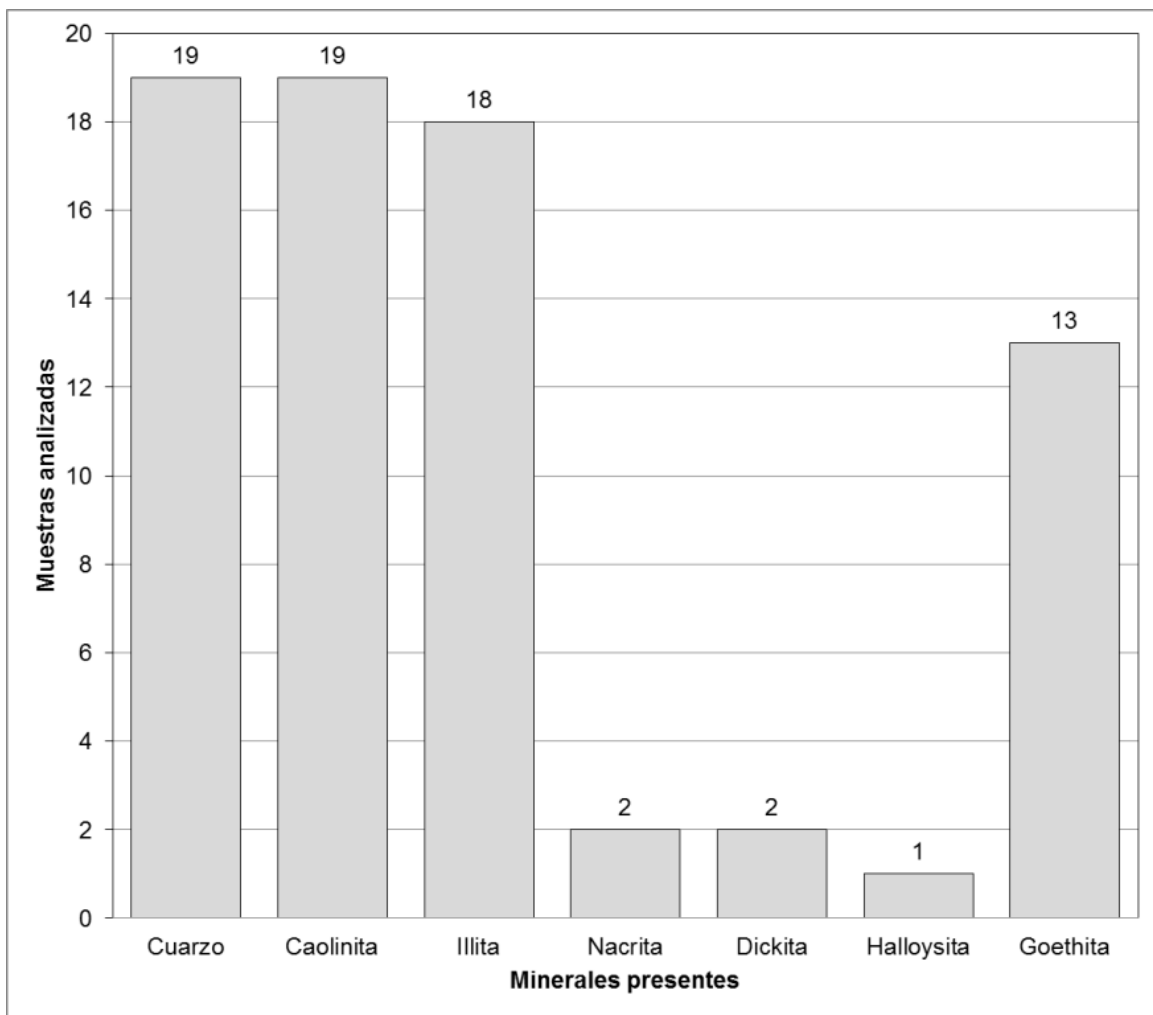


Figura 47. Gráfico de barras en donde muestra la cantidad de minerales presentes en las muestras analizadas.

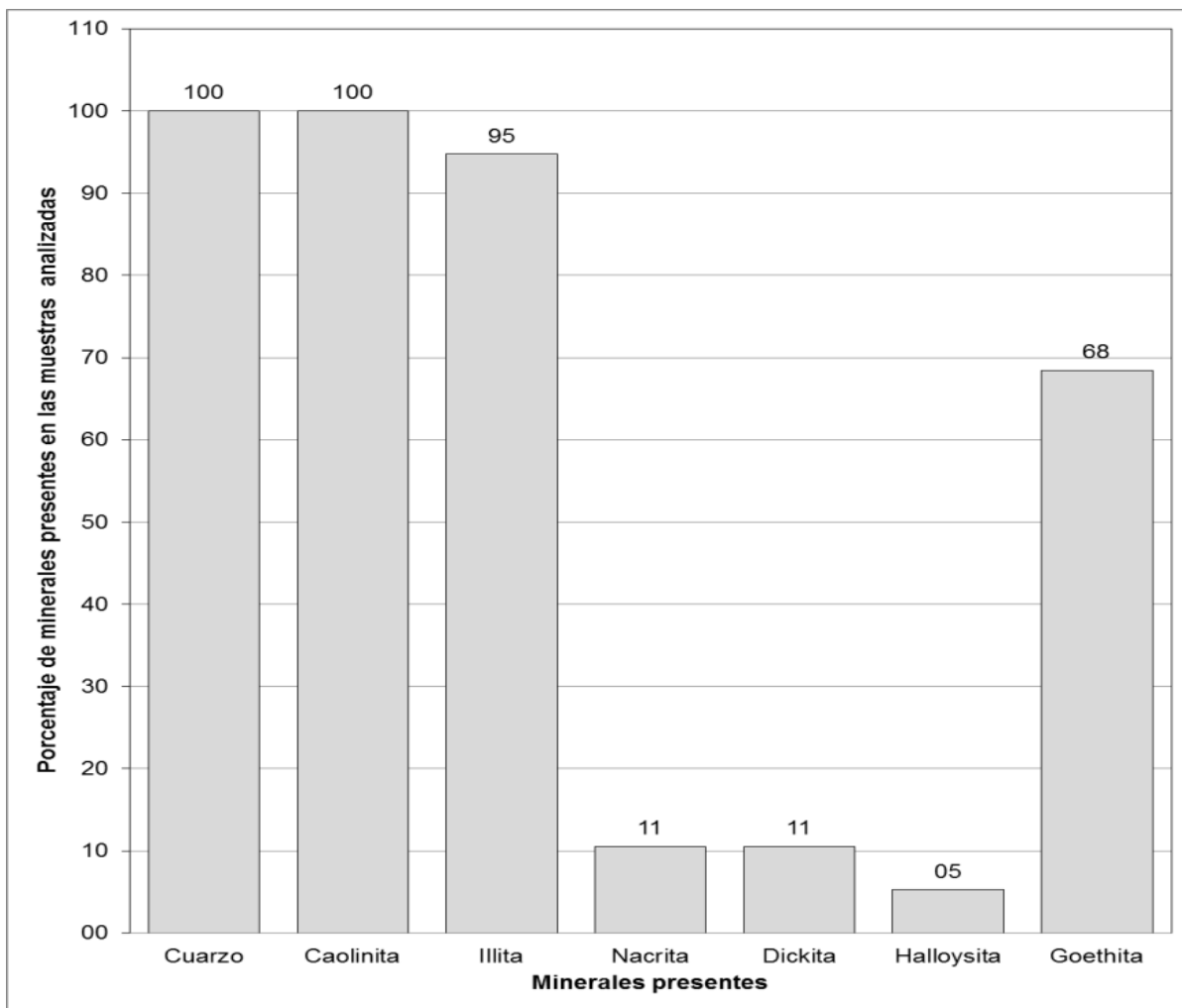


Figura 48. Gráfico de barras en donde muestra la proporción en porcentaje de cantidad de minerales presentes en las muestras analizadas.

De manera general, la composición mineralógica de las muestras analizadas sigue una tendencia común con los valores geotécnicos obtenidos en laboratorio típicos para este tipo de arcillas minerales.

4.4.- ENSAYOS GEOMECÁNICOS

4.4.1.- Generalidades

Desde el punto de vista general los ensayos geomecánicos consisten en la simulación en la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los

problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre.

4.4.2.- Contenido de humedad natural (ASTM D2166)

En la figura 49 se muestra a manera de resumen los valores de humedad natural versus la profundidad de la zona de estudio. Se realizaron un total de 683 determinaciones de contenido de humedad en suelos

Los resultados arrojados en el primer estrato de arcilla (0,00 - 5,00) denominado como “ARCILLA I”, muestran un valor promedio de 15,77 %.

Después de los 5,00 hasta los 10,00 metros de profundidad; en el estrato denominado como “MATERIAL GRANULAR”, se observa una ligera disminución del contenido de humedad, la cual, ronda un valor promedio de 14,45 %.

En este orden de ideas, en el tercer estrato denominado como “ARCILLA II”, la cual, ronda entre los 10,00 - 15,00 de profundidad se denota un aumento de su contenido de humedad con un valor promedio de 16,03 %

Siguiendo con lo anterior, el último estrato denominado como “LUTITA”, la cual es el tope de la Formación Roblecito, se inicia comúnmente a partir de los 15,00 metros de profundidad, muestra un valor promedio de 16,45%.

Las ligeras variaciones de contenido de humedad observadas en los estratos granulares (MATERIAL GRANULAR) en comparación a los cuerpos geomecánicos cohesivos (ARCILLA I, ARCILLA II Y LUTITA) es que por sus propiedades mineralógicas (absorción de agua), su alta permeabilidad y porosidad; permiten el paso de agua y no la retienen.

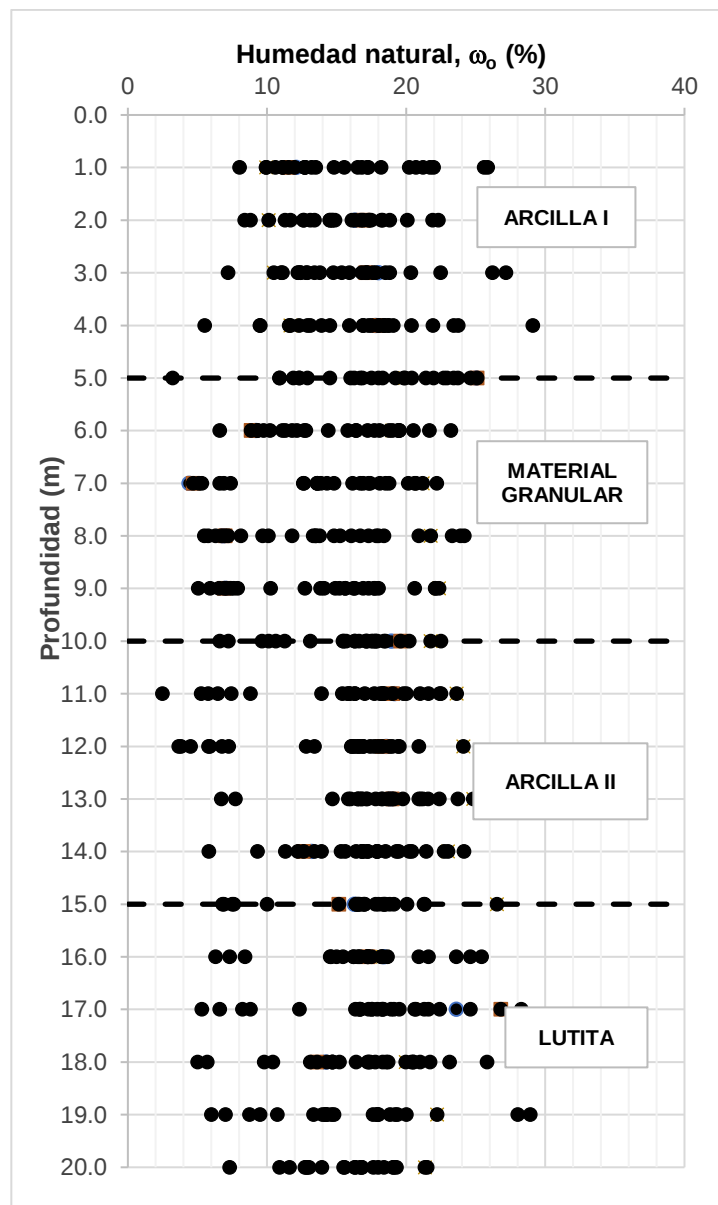


Figura 49. Gráfico contenido de humedad natural versus profundidad, la cual, se observa las ligeras variaciones de acuerdo con el tipo de estrato litológico.

4.4.3.- Densidad por medio del método de la parafina (ASTM D7263-09)

En la figura 50, se muestra a manera de resumen los valores de peso unitario seco versus la profundidad de la zona de estudio. Los resultados arrojados en el primer estrato de arcilla (0,00 - 5,00) denominado como “ARCILLA I”, muestran un

valor promedio de 1,765 g/cm³. En las capas geomecánicas siguientes denominadas como “ARCILLA II” (5,00 - 9,00 m) y “LUTITA” (> 9,00 m) se observan valores promedios de 1,819 g/cm³ y 1,823 g/cm³ respectivamente. En los materiales granulares no fue posible determinar dicho parámetro.

Aquí se puede evidenciar el aumento de la densidad a medida que se va profundizando, cumpliéndose el principio de la influencia de la carga litostática. Fueron realizadas un total de 55 determinaciones de peso unitario en suelo.

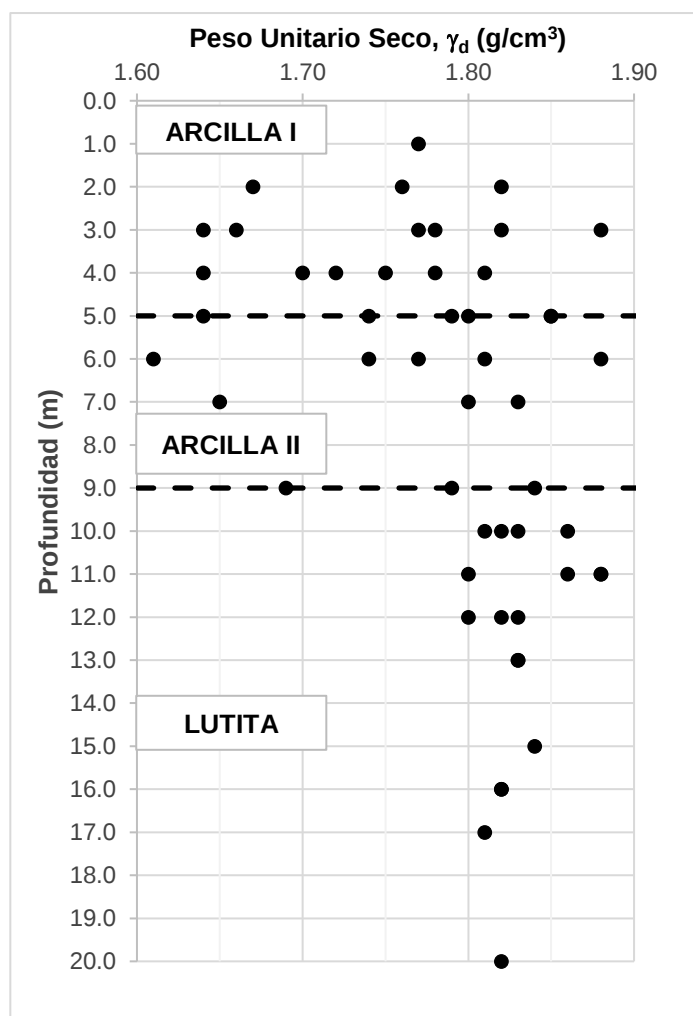


Figura 50. Gráfico Peso unitario seco versus profundidad, la cual, se observa las ligeras variaciones de acuerdo con la profundidad y tipo litológico.

4.4.4.- Gravedad específica o Peso específico por medio del método del picnómetro (Gs) (ASTM D854-14)

De manera general, se observa un valor promedio general de gravedad específica (Gs) de 2,749; con un máximo y mínimo comprendido entre los 2,770 y 2,711 respectivamente, concordando con las estimaciones típicas de este parámetro geotécnico para arcillas minerales. Fueron realizados un total de 45 pesos específicos.

4.4.5.- Análisis granulométrico por medio del método Hidrómetro de Bouyoucos (ASTM D 7928-17)

Cabe destacar en líneas generales, un porcentaje de material fino pasante tamiz No. 200 ($\% < 2$ micras) promedio de 85%; con un máximo y mínimo comprendido entre los 98% y 64% respectivamente. Fueron realizados 24 ensayos de análisis granulométrico por medio del hidrómetro.

Aunado a lo anterior, de las muestras 24 seleccionadas para realizar este ensayo, un 83% es clasificado de acuerdo con lo establecido por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) como Arcilla de Baja Plasticidad (CL) y un 17% es descrito como Arcilla de Alta Plasticidad (CH).

Además de ayudar a clasificar el suelo de acuerdo con las normativas internacionales, el tamaño de grano es un útil indicador de posibles propiedades expansivas en suelos cohesivos. Chen (1975) propone una correlación gráfica (ver figura 51) en donde se toma en cuenta la actividad (A) y el porcentaje de tamaño tipo arcilla ($\% < 0,002$ mm), esto es conocido como “Método de la Actividad”, cuyo posible potencial de expansión es medido en porcentaje. Esta metodología es ampliamente utilizada por United States Bureau of Reclamation (U.S.B.R.).

De acuerdo con lo anterior, se observa de un bajo a medio potencial de expansión (1,5 - 5,0 %) de las muestras seleccionadas para la presente investigación.

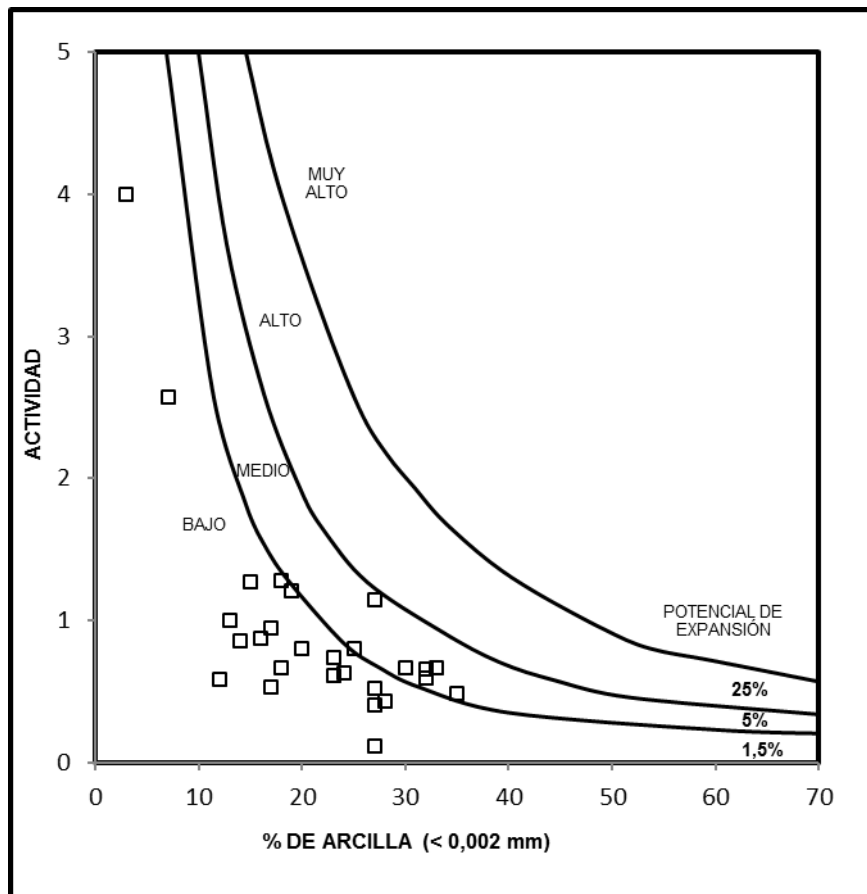


Figura 51. Gráfico propuesto por Seed, Woodward y Lundgren (1962) para una identificación cualitativa del grado de expansión los suelos tomando en cuenta el porcentaje de tamaño tipo arcilla y la actividad. Tomado de Chen (1975)

4.4.6.- Límites de consistencia o de Atterberg (ASTM D 4318-17)

Antes que nada, es importante aclarar que este parámetro geomecánico aplica solamente para suelos cohesivos y/o arcillosos mas no para materiales granulares. En la figura 52 se puede observar valores de límites de consistencia planteados en la Carta de Plasticidad de Casagrande. Fueron analizadas un total de 127 muestras. Los valores promedios generales de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de 39%, 20% y 19% respectivamente.

Aunado a lo anterior, los valores máximos y mínimos correspondientes a los Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad rondan entre los 56% - 22%, 27% - 13% y 31% - 3% correspondientemente.

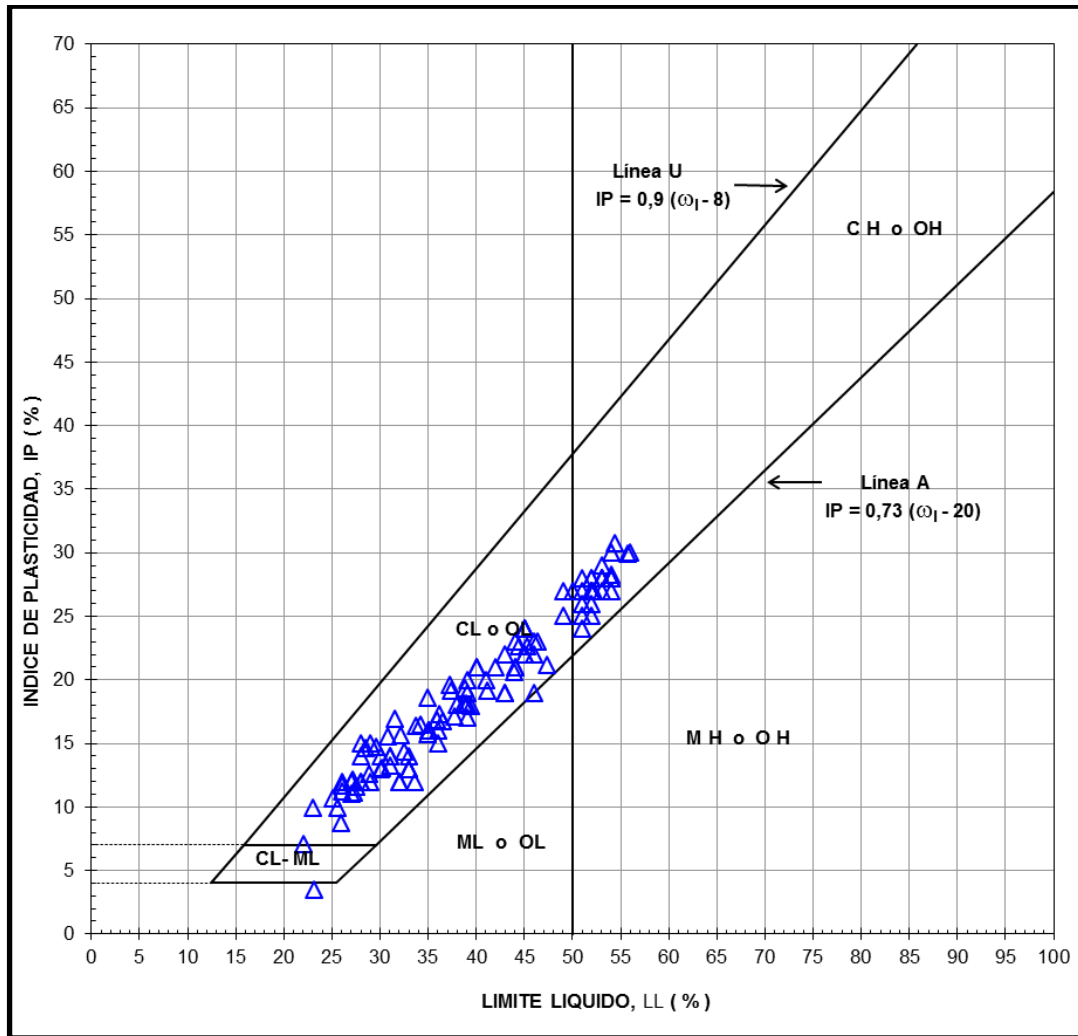


Figura 52. Carta de Plasticidad de Casagrande en donde se observan los resultados generales obtenidos del ensayo de límite de consistencia.

De acuerdo con lo expuesto por Casagrande (1932), mencionado por Holtz y Kovacs (1981) en la figura 21 y cotejando los resultados cualitativos obtenidos de la Difracción de Rayos X (DRX), se evidencia la correlación existente entre el tipo de mineral observado y sus valores de Límites de Consistencia ya que los resultados apuntan a un comportamiento del tipo Illita - Caolinita.

En vista de lo anterior, se afirma la importancia de la Carta de Plasticidad como herramienta auxiliar para la identificación de arcillas minerales de acuerdo con los valores de límites de consistencia.

Desde el punto de vista espacial (ver figura 53), el estrato geomecánico denominado como “ARCILLA I” (0.00 - 5.00 metros de profundidad aproximado) se observan promedio de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de 36%, 19% y 23% respectivamente.

Del mismo modo, se evidencia valores máximos y mínimos de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de 54% - 23%, 24% - 13% y 31% - 3% correspondientemente.

En el estrato denominada como “ARCILLA II” (5,00 - 11,00 metros de profundidad aproximado) se observan promedio de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de 34%, 18% y 16% respectivamente.

Del mismo modo, se evidencia valores máximos y mínimos de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de 51% - 22%, 27% - 13% y 24% - 4% correspondientemente.

En el estrato llamado como “LUTITA” (a partir de los 11,00 - 12,00 metros de profundidad) se observan promedio de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de 44%, 22% y 22% respectivamente.

Del mismo modo, se evidencia valores máximos y mínimos de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de 56% - 24%, 27% - 14% y 30% - 10% correspondientemente.

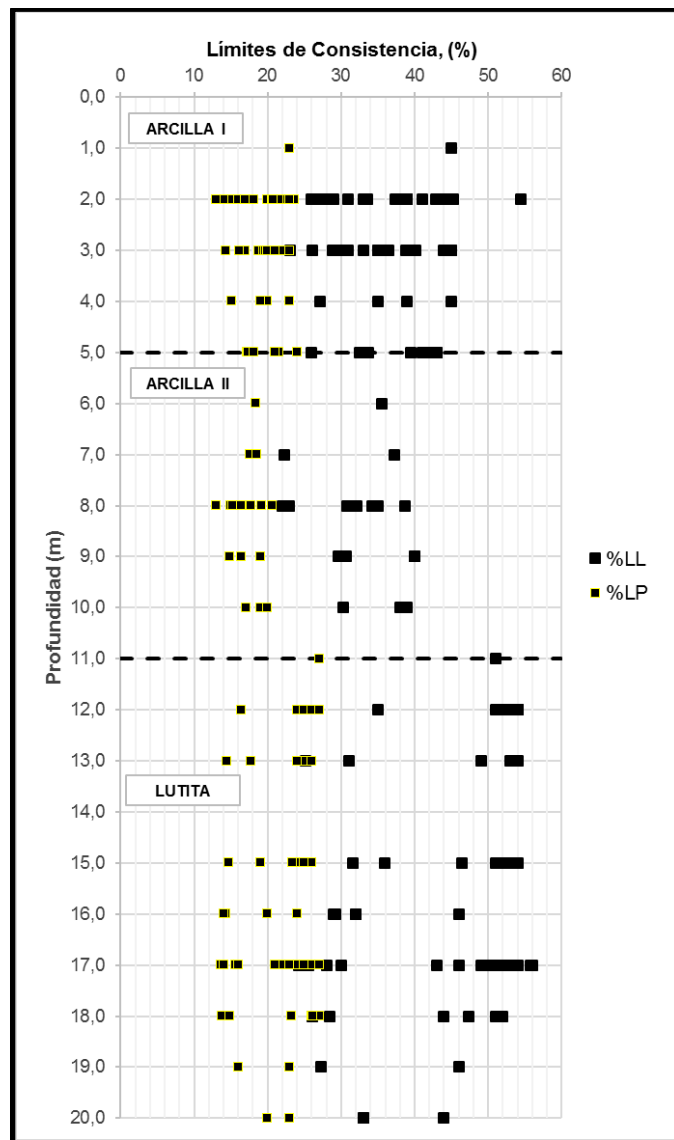


Figura 53. Gráfica Límites de Consistencia versus profundidad.

Los límites de consistencia, según Chen (1975) son indicadores auxiliares de posibles propiedades expansivas en los suelos.

En vista de lo anterior, Dakshanamurthy y Raman (1973) proponen un método auxiliar para identificar cualitativamente posibles propiedades expansivas los suelos basados en los valores de límites de consistencia, la cual es una gráfica derivada de la Carta de Plasticidad de Casagrande (ver figura 54).

Se observa en las arcillas analizadas en esta investigación posible comportamiento expansivo de bajo a alto grado.

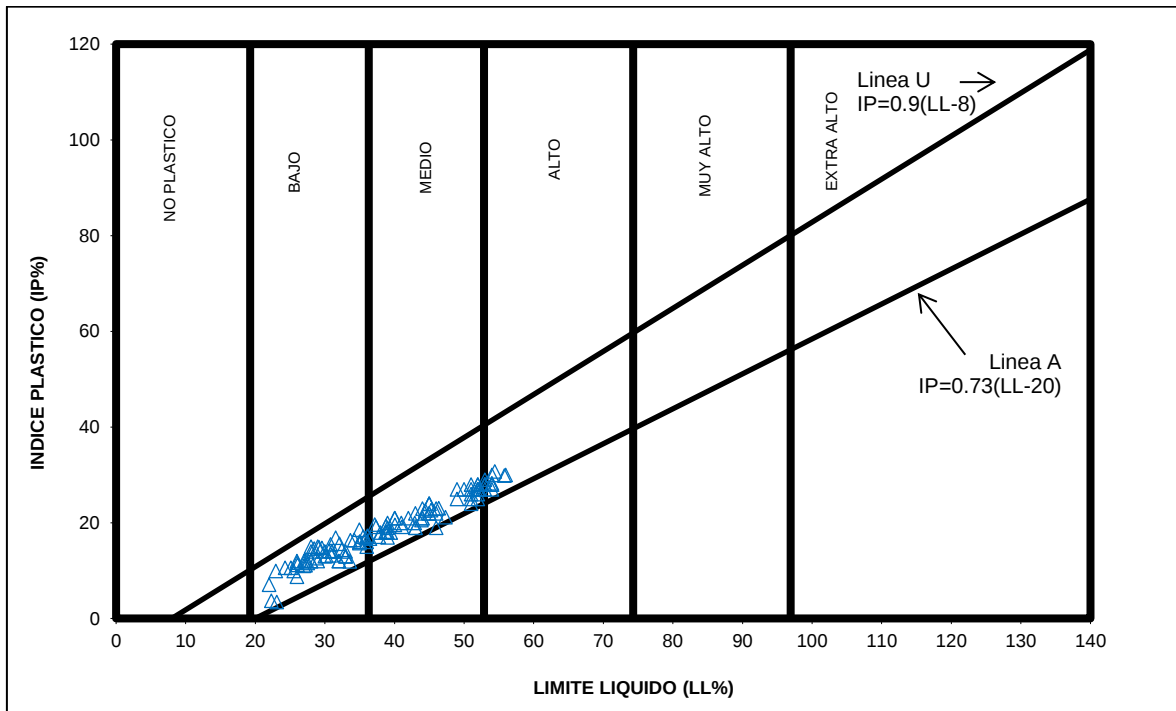


Figura 54. Carta de plasticidad para la identificación cualitativa del grado de expansión los suelos. Tomado de Dakshanamurthy y Raman (1973)

Siguiendo con lo anterior, Dakshanamurthy y Raman (1973), propone otra herramienta gráfica para la identificación cualitativa de posibles indicios de hinchamiento en suelos cohesivos. Estipula que la densidad y los límites de consistencia son útiles como indicadores de este fenómeno como se observa en la figura 55, en la cual, se evidencia un comportamiento de las muestras seleccionadas para esta investigación de medianamente expansivo a expansivo.

Adicionalmente, Chen (1975) menciona que la densidad es una propiedad índice indicadora de posibles propiedades expansivas en los suelos arcillosos generando diversos inconvenientes a la hora de realizar labores de perforación exploratoria en campo.

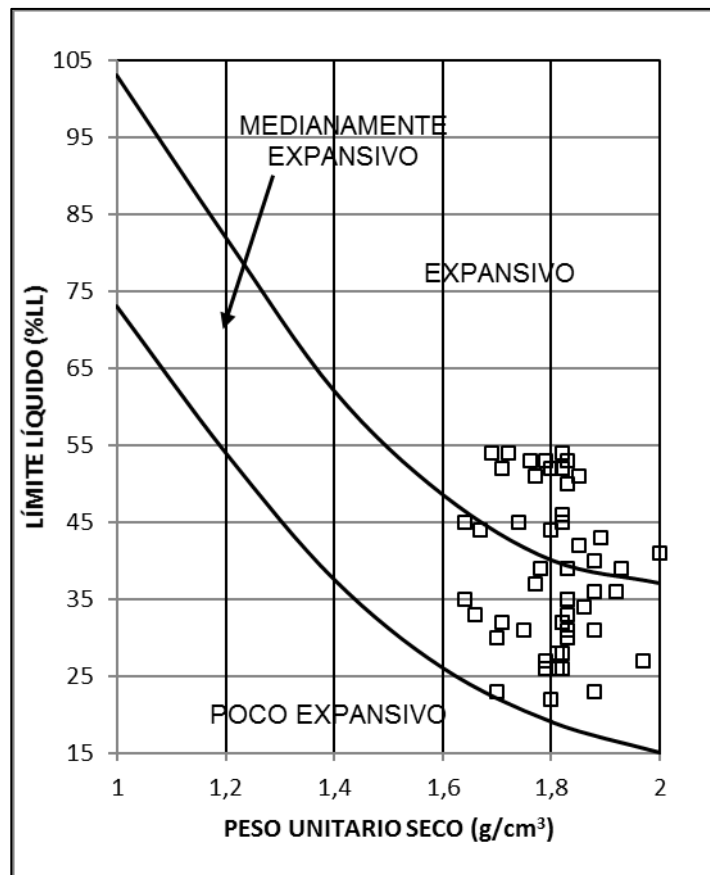


Figura 55. Gráfico propuesto por Da Nilov (1965) para una identificación cualitativa del grado de expansión los suelos. Tomado de Dakshanamurthy y Raman (1973)

Williams (1957), mencionado por Chen (1975), plantea otra grafica (ver figura 56) para la identificación cualitativa de posibles indicios de expansión en suelos cohesivos. El autor utiliza los parámetros de índice de plasticidad (%IP) relacionado con el porcentaje de tamaño tipo arcilla ($\% < 2 \mu$ o 0.002 mm): observándose de baja a alta probabilidades de potencial de hinchamiento.

Santamarina (2008) estipula que los límites de Atterberg son una expresión de la superficie específica de los suelos. Los valores promedio máximo y mínimo de este parámetro geomecánico rondan $37 \text{ m}^2/\text{g}$, $67 \text{ m}^2/\text{g}$ y $6 \text{ m}^2/\text{g}$ correspondiendo a los valores típicos de arcillas minerales del tipo Caolinita - Ilita respectivamente.

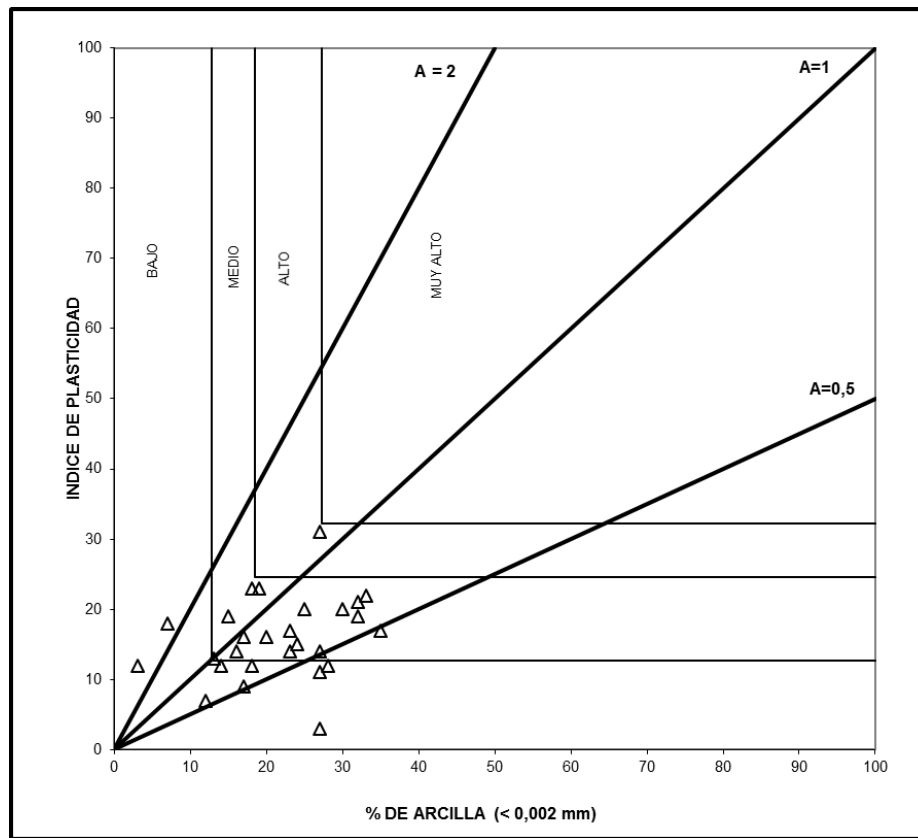


Figura 56. Gráfico propuesto por Williams (1957) para una identificación cualitativa del grado de expansión los suelos tomando en cuenta el porcentaje de tamaño tipo arcilla y el índice plástico. Tomado de Chen (1975)

Para finalizar, los valores de Actividad en suelos cohesivos determinados en las muestras seleccionadas en esta investigación arrojaron un valor promedio de 0,95 con un rango máximo y mínimo de 3,87 - 0,13 respectivamente. Estos resultados concuerdan con los rangos típicos de la Caolinita – Ilita (Das, 2008); sirviendo como también como herramienta auxiliar para la clasificación mineralógica cualitativa.

4.4.7.- Compresión inconfiada en suelos cohesivos (ASTM D2166)

Fueron realizados un total de 45 ensayos de compresión inconfiada en suelos cohesivos. Los valores de peso unitario (determinado por medio de la cubicación directa) de las muestras seleccionadas arrojaron valores comprendidos entre 1,55 y 1,97 g/cm³ respectivamente, con 1,81 g/cm³ en promedio (Ver figura 57) concordando con los resultados obtenidos por medio del método de la parafina.

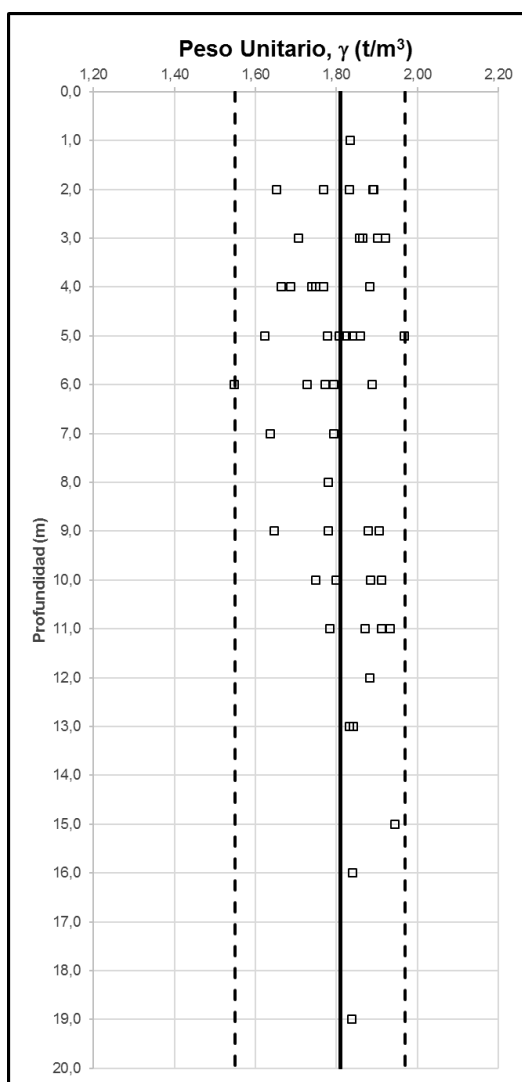


Figura 57. Gráfico peso unitario de las muestras sometidas al ensayo de compresión inconfiada versus profundidad en donde se observan los límites máximo y mínimo con el valor promedio de los resultados obtenidos.

En cuanto a su máxima resistencia a la compresión (q_u), nótese en la figura 58 que se obtuvieron valores comprendidos entre los 96,00 y 1155 kPa (0,98 y 11,80 kg/cm²) con un promedio de 201 kPa (2,00 kg/cm²) respectivamente; decreciendo a medida que se va profundizando. Esto se debe a que las muestras más superficiales son expuestas a los fenómenos de desecación, las cuales ayuda en el aumento de dicho valor.

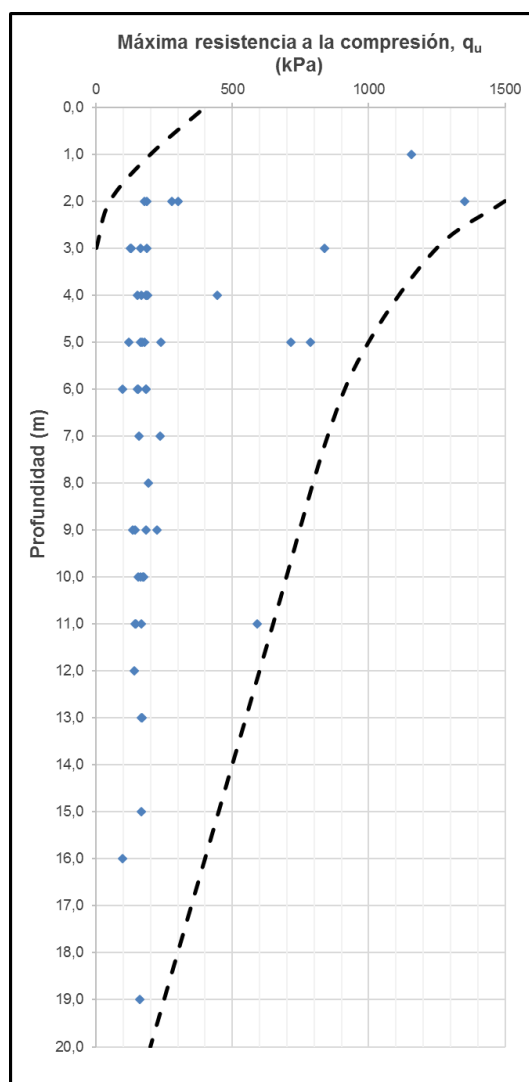


Figura 58. Gráfico Resistencia a la compresión (q_u) versus profundidad en donde se observa una disminución de la presión máxima de rotura a medida que aumenta la profundidad del sondeo.

De Marco (2002) propone una relación existente entre el de golpes SPT y la máxima resistencia a la compresión (q_u). Es por eso que en la figura 59, se presenta una correlación entre ambos parámetros geomecánicos de la zona de estudio. Para la determinación de la resistencia al corte (S_u) en base al de golpes S.P.T., sólo se debe seguir el principio de $S_u = q_u/2$

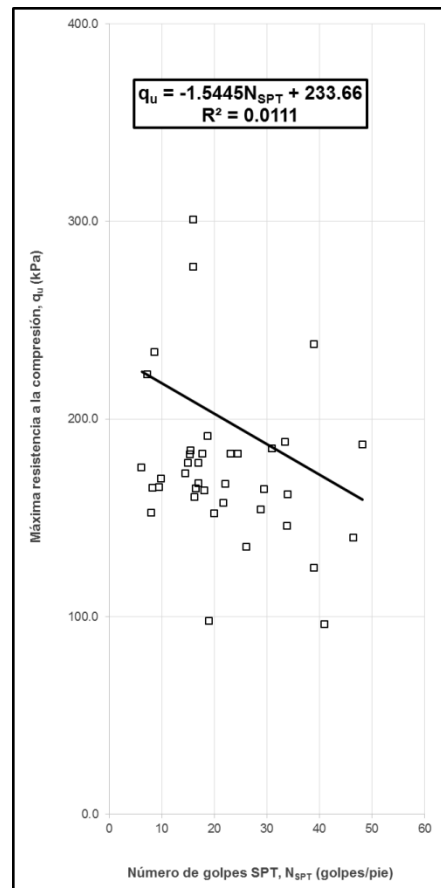


Figura 59. Gráfico de golpes S.P.T. versus Máxima resistencia a la compresión (q_u), en la cual, muestra la correlación matemática entre ambos parámetros geomecánicos.

De acuerdo a lo estipulado a los factores de correlación (R^2) en la figura 59 dicho valor se encuentra muy alejado de 1, por lo cual, dicha ecuación no es aconsejable su uso para predecir el posible comportamiento de esa arcilla.

En este orden de ideas, el de Módulo de Elasticidad o Young (E) se determinó trazando una línea recta sobre la curva esfuerzo-deformación de los ensayos de compresión inconfiada, procediendo así a calcular su pendiente. Los cálculos realizados sobre las muestras seleccionadas arrojaron valores comprendidos entre los 1071 y 67200 kPa (11 y 685 kg/cm²), con un promedio de 16400 kPa (167,44 kg/cm²) respectivamente. Nótese la tendencia de los resultados en la figura 60, en la cual, como sucede con la máxima resistencia; va disminuyendo a medida que aumenta la profundidad.

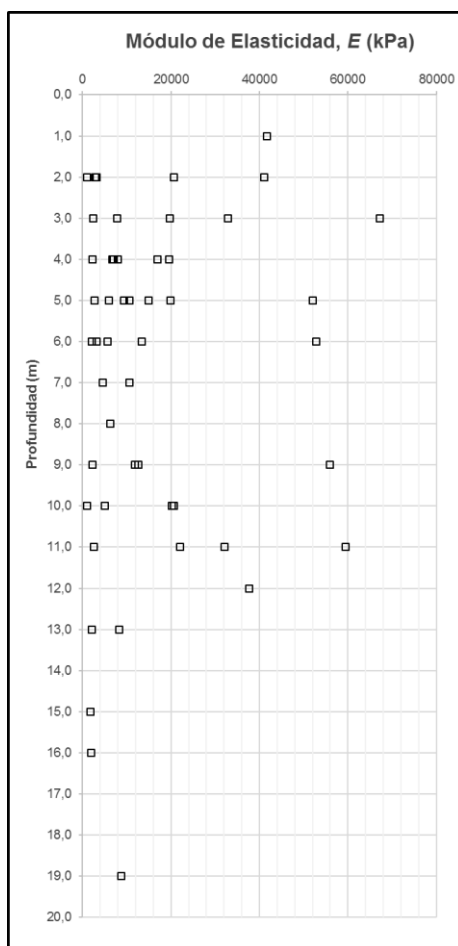
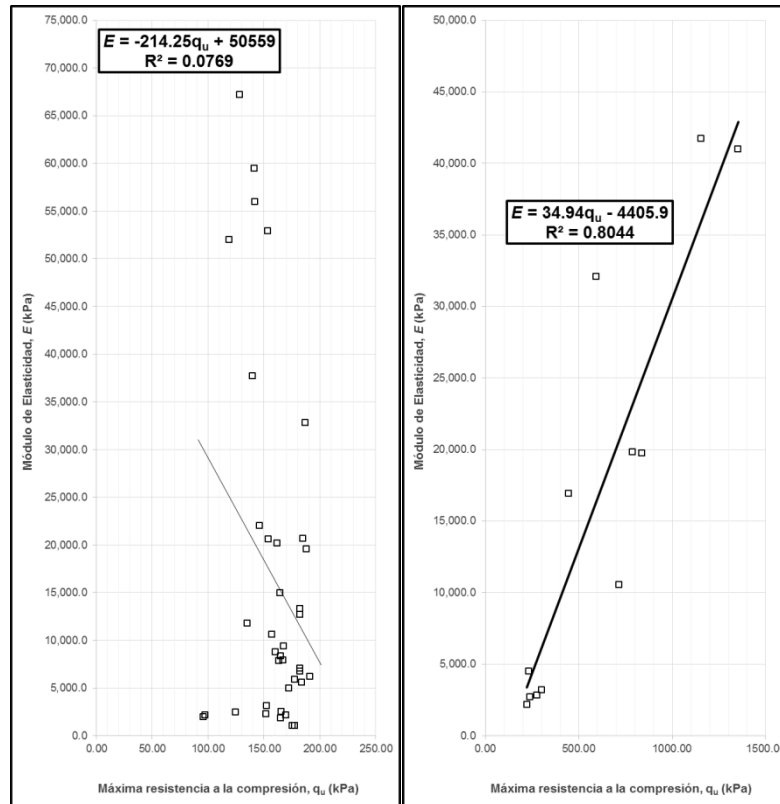


Figura 60. Gráfico Módulo de Elasticidad (E) versus profundidad en donde se observa una disminución a medida que aumenta la profundidad de la perforación.

González de Vallejo (2002) expone que existe una relación entre los valores de máxima resistencia a la compresión (q_u) con el módulo de Elasticidad (E). En base a ello, las figuras 61 (izquierda) y 62 (derecha) proponen las correlaciones entre ambos parámetros para $q_u < 200$ kPa y 200 kPa $< q_u < 1500$ kPa respectivamente.



Figuras 61 (izquierda) y 62 (derecha). Gráfico Máxima resistencia (q_u) versus Módulo de Elasticidad (E), en la cual, se muestra la correlación existente entre ambos parámetros geomecánicos.

En la figura 61 se observa un factor de correlación (R^2) muy alejado de 1 por lo cual su uso no es aconsejable ($R^2 = 0.0769$), caso contrario en la figura 62 en donde arroja un valor más confiable ($R^2 = 0.8044$); lo cual, para este caso en particular si es aplicable esta última fórmula.

Por otra parte, Bowles (1997), estipula una relación existente entre el de golpes S.P.T y el Módulo de Elasticidad; la cual es mostrada en la figura 63, en donde muestra la correlación matemática existente entre ambos parámetros geomecánicos.

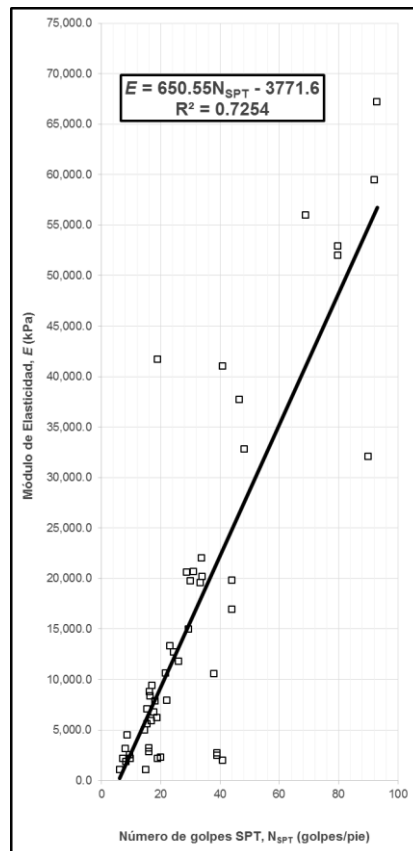


Figura 63. Gráfico de golpes S.P.T. versus Módulo de elasticidad (E), en la cual, muestra la correlación matemática entre ambos parámetros geomecánicos.

El factor de correlación (R^2) determinado en la gráfica anterior arrojó un valor de 0.7254, la cual, es más confiable para su aplicabilidad en estas arcillas de esta investigación.

Para finalizar, con base al de golpes S.P.T. y aunado a los resultados de máxima resistencia a la compresión (q_u), resistencia al corte (S_u) y módulo de elasticidad (E) determinados, se proponen las siguientes correlaciones empíricas

derivadas de diversas herramientas matemáticas para las arcillas de la zona de estudio:

Máxima resistencia a la compresión (q_u):

$$q_u \text{ (kPa)} = -1,5445N_{\text{SPT}} - 233,66 \text{ (Ec.16)}$$

Resistencia al corte (S_u):

$$S_u \text{ (kPa)} = -0,7723N_{\text{SPT}} - 116,83 \text{ (Ec.17)}$$

Módulo de Elasticidad (E):

$$E \text{ (kPa)} = 650,55N_{\text{SPT}} - 3771,6 \text{ (Ec.18)}$$

$$E \text{ (kPa)} = -1470q_u - 250950 \text{ (para } q_u < 200 \text{ kPa)} \text{ (Ec.19)}$$

$$E \text{ (kPa)} = -34,94q_u - 4405,9 \text{ (para } 200 \text{ kPa} < q_u < 1500 \text{ kPa)} \text{ (Ec.20)}$$

Es importante destacar que se debe tomar en cuenta los factores de correlación (R^2) observados en cada una de las ecuaciones mostradas. Las ecuaciones 16, 17 y 19 generaron valores muy alejados de 1 y por ende no es aconsejable su uso.

4.4.8.- Corte directo (ASTM D3080)

Fueron realizados un total de 4 ensayos de corte directo en muestras seleccionadas de la zona de estudio ubicada al suroeste de la población de El Sombrero, estado Guárico. Este ensayo consistió en colocar la muestra reconstituida con las condiciones iniciales de densidad y humedad inicial; a ensayar en una caja de corte de forma cilíndrica (metálica), la cual, está cortada horizontalmente en dos partes iguales; donde se aplicaron dos fuerzas: una fuerza normal (σ) sobre el espécimen desde la parte superior y otra fuerza horizontal de corte (τ) aplicada desplazando una mitad con respecto a otra. Con este ensayo se obtuvieron los parámetros de resistencia al corte en las muestras de arcillas como ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (C) (ver Tabla 8)

Tabla 8. Cuadro resumen muestra seleccionadas para el ensayo de corte directo

Perforación	Muestra	Profundidad (m)	Humedad natural ($\omega\%$)	Peso unitario seco, γ_d (g/cm³)	Cohesión, C (kg/cm²)	Ángulo de fricción interna, ϕ (°)
BH - 3	2 – 4	1,55 - 4,00	20,2	1,78	0,45	26,10
BH - 8	2 – 3	1,55 - 3,00	18,8	1,77	0,35	32,21
BH - 13	1 – 5	0,55 - 5,00	20,04	1,64	0,46	17,01
BH - 16	4 – 5	3,55 - 5,00	22,64	2,00	0,16	25,97

El peso unitario promedio de las muestras de arcilla seleccionadas para el ensayo fue de 1,80 g/cm³, con valores máximos y mínimos de 2,00 g/cm³ y 1,64 g/cm³ respectivamente.

Las muestras fueron consolidadas a esfuerzos normales de 1,00 kg/cm², 2,00 kg/cm² y 4,00 kg/cm², proyectando valores de ángulo de fricción interna (ϕ) y cohesión (C) comprendidos entre los 17,01° - 32,21° y 0,16 - 0,46 kg/cm² correspondientemente.

Mineralógicamente, se observa un comportamiento típico a lo observado en las arcillas del tipo Caolinita - Illita, tal y como lo menciona González de Vallejo (2002) en la figura 3 de esta investigación.

De acuerdo a los resultados observados, los valores de la BH – 3 y BH – 16 muestras 2 – 4 y 4 – 5 respectivamente son los más adecuados para este tipo de material arcilloso de acuerdo a la literatura.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES

- Geomecánicamente, el área de estudio se divide en 4 zonas definidas como “ARCILLA I” (0,00 – 5,00), la cual se compone litológicamente arcillas de plasticidad variada limosas de colores claros mayormente (CL y CH), seguido por el segundo estrato definido como “MATERIAL GRANULAR” (5,00 – 10,00) compuesto por arenas limosas a limpias con grava (SM y SP) y Grava limpia a limosa redondeada con arena (GM y GP), ambos de colores claros. La tercera capa es denominada “ARCILLA II” (10,00 – 13,00), la cual se compone primordialmente de arcillas plasticidad variada, de colores claros (CL y CH). Después de los 13,00 – 15,00 se denota la zona definida como “LUTITA”, la cual, se compone de lutitas descompuestas carbonáticas de color marrón oscuro a marrón claro grisáceo de la Formación Roblecito.
- El ambiente sedimentario de los suelos presentes en el área de estudio es del tipo fluvial con eventuales variaciones en los niveles de energía en el aporte de sedimentos, principalmente de los ríos Paya y Guárico.
- Los resultados del análisis mineralógico por medio de la técnica de Difracción de rayos X sobre las muestras seleccionadas para esta investigación desde el punto de vista cualitativo indicaron que los principales minerales son (en orden de abundancia): Cuarzo, Caolinita, Illita, Goethita y en menor cantidad Nacrita, Dickita y Halloysita, las cuales corresponden a suelos de tipo arcilla según el caso.
- Los valores obtenidos de límites de consistencia, densidad, porcentaje de tamaño tipo arcilla y actividad, muestran indicios de posibles propiedades expansivas de los suelos tal y como lo evidencia las gráficas presentada por Dakshanamamthy y Raman (1973), Da Nilov (1965), Seed, Woodward y Lundgren (1962) y Williams (1957), las cuales exponen de bajo a alto potencial de hinchamiento. Es por ello que se debe tomar en cuenta este fenómeno y tomar las

medidas pertinentes a la hora de realizar algún tipo de aprovechamiento comercial en la zona.

- En líneas generales, las propiedades mecánicas de los materiales cohesivos (Máxima resistencia a la compresión (q_u), Cohesión (C) y ángulo de fricción interna (ϕ)) siguen un mismo patrón ante las propiedades de plasticidad y mineralogía observados en la literatura; entre más plástico el material mayores probabilidades de potencial de hinchamiento y menor su resistencia cortante.
- La lutita de la Formación Roblecito, detectada hacia el final de las perforaciones a partir de los 13,00 - 15,00 metros de profundidad principalmente en el sitio de investigación, se comporta geomecánicamente (según Salcedo, 1969) como una Roca Descompuesta blanda (RDb) y Roca Meteorizada blanda (RMb)
- Se obtuvo que los valores de máxima resistencia a la compresión (q_u) están comprendidos entre los 96,00 y 1155 kPa con un promedio de 201 kPa y adicionalmente el parámetro de Módulo de elasticidad (E) rondan los 1071 y 67200 kPa, con una media de 16400 kPa los cuales son valores típicos para este tipo de material arcilloso según la bibliografía.
- Los resultados de ángulo de fricción interna (ϕ) y cohesión (C) obtenidos del ensayo de corte directo aplicado sobre muestras seleccionadas de la zona en estudio fueron entre los $17,01^\circ$ - $32,21^\circ$ y $0,16$ - $0,46$ kg/cm², los cuales son valores típicos para este tipo de material arcilloso según la bibliografía.
- Con base al número de golpes S.P.T., aunado a los resultados de máxima resistencia a la compresión (q_u), resistencia al corte (S_u), módulo de elasticidad (E) y factor de correlación (R^2) obtenidos en esta investigación, se proponen una serie de correlaciones empíricas derivadas de diversas herramientas matemáticas para las arcillas de la zona de estudio (ver ecuaciones 16 a 20)

5.2.- RECOMENDACIONES

- Se recomienda un estudio sedimentológico y análisis de facies sedimentarias que comprende un aporte geológico para la zona de estudio, el cual puede ser utilizado para desarrollar estudios más profundos y en un área más extensa de los paleoambientes sedimentarios que se presentaron en esta región durante el Mioceno Tardío y el Oligoceno.
- Analizar por medio de la microscopía electrónica con la finalidad de definir morfológicamente el tipo de arcillas, a fin de servir como complemento a las muestras analizadas por medio de la difracción de rayos X (DRX)
- Realizar como dato adicional ensayos de Fluorescencia de Rayo X a fin de conocer en detalle la composición química de las arcillas de la zona de estudio.
- Caracterizar geotécnicamente las arcillas ubicadas en la zona en detalle para conocer sus diversas propiedades mecánicas (resistencia al corte sin drenar, potencial y presión máxima de expansión, etc.), mediante ensayos mecánicos especiales estáticos (Compresión triaxial, Corte directo simple (DSS), Expansión libre y controlada, Consolidación unidimensional, etc.), ya que nos ayudaría a entender el comportamiento de estos materiales y poder tener así datos fiables para posibles aplicaciones (minería, estabilidad de taludes, diseño de fundaciones, futuras investigaciones, etc.)
- En vista de lo anterior realizar ensayos mecánicos especiales dinámicos (Bender elements, Triaxial cíclico, Corte directo simple cíclico (CDSS), Columna resonante, Mesa vibratoria, entre otros) a las arcillas, las cuales serían de utilidad para entender el comportamiento de estos materiales ante eventos sísmicos en la zona de estudio.
- Efectuar campañas exploratorias más intensivas por medio de perforaciones con recuperación de núcleos y calicatas a fines de conocer la geometría de los espesores de arcillas con la finalidad de evaluar dicho yacimiento como fuente de materias primas para la construcción.

- Por sus posibles propiedades expansivas de las arcillas presentes en la zona de estudio, se recomienda a la hora de realizar futuras obras ingenieriles en el sector; aplicar medidas preventivas y correctivas (tales como estabilización con cal, reemplazamiento de material, compactación controlada, prehumedecimiento, etc.) con la finalidad de poder controlar el hinchamiento de los suelos cohesivos.

BIBLIOGRAFÍA

American Standard Testing of Materials (ASTM). (2004). Annual Book of ASTM (116ª ed.). West Conshohocken, Estados Unidos de América: ASTM International.

Arias, I. (2004). *Estudio de minerales de arcilla presentes en muestras de sedimentos superficiales y núcleos de la Fachada Atlántica Venezolana*. Caracas.

Bell, J. (1968). *Geología del área de Camatagua, Estado Aragua, Venezuela*. Boletín Geológico, Caracas, 9 (18): 291 – 440.

Bernal O. y Cheik, J. (2011). *Estudio geológico geotécnico y petrográfico para caracterizar muestras de rocas provenientes de las perforaciones realizadas a lo largo de la vía férrea, entre la ciudad de Tejerías estado Aragua y Cúa, estado Miranda*. Caracas.

Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil* (2ª ed.). Bogotá, Colombia: Editorial McGraw Hill Latinoamericana.

Bowles, J. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). Mc Graw - Hill Book Company. New York

Casagrande, A. 1932. *Research on the Atterberg limits of soil*. Public Roads 13(8): 121-136

Chen, F. (1975). *Foundations on expansive soils* (1ª ed.). New York, Estados Unidos de América: Editorial Elsevier Scientific Publishing Company.

COPLANARH. (1974) *Inventario Nacional de Tierras. Estudio Geomorfológico de los Llanos Centro Orientales*. 129 p.

Das, B. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (3ª ed.). Ciudad de México, México: Thomson Learning.

Das, B. (2006). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (5ª ed.). Ciudad de México, México: Thomson Learning.

Das, B. (2008). *Advanced Soil Mechanics* (3ª ed.). Londres, Reino Unido: Taylor & Francis Group Publishing.

Dakshanamurthy, V y Raman, V. (1973). *A simple method of identifying an expansive soil*. Publicación de la Sociedad Japonesa de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. 1973. Volumen 13, páginas 97 – 104.

Danilov, A. (1965). *Nomograms for calculating the void ratio e , porosity n , degree of saturation G with respect to unit weight γ , bulk specific weight of skeleton γ_{sk} , and water content of soil w* . Soil Mechanics and Foundation Engineering July 1965, Volume 2, Issue 4, pp 246–24

De Marco, P. (2002). *Caracterización geotécnica del subsuelo mediante métodos exploratorios. Del estado del arte a la práctica*. Publicaciones del XVII Seminario Venezolano de Geotecnia “Del Estado del Arte a la Práctica”. Caracas, Venezuela.

Farrar, D. y Coleman, J. (1967). *The correlation of surface area with other properties of nineteen British clays*. Publicación de la Journal of Soil Science. 1967. Volumen 18, páginas 118 – 124.

Figuerola, D. (2007). *Dinámica* (3ª ed.). Caracas, Venezuela: Talleres de Miguel Ángel García e Hijos S.R.L.

Flores, C. (1962). *Representaciones gráficas de los términos geotécnicos más usuales*. Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas.

García, R. (2004) *Geología aplicada a la ingeniería civil* (1ª ed.). Caracas, Venezuela: Ediciones UCAB.

González de Juana, C. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas* (1ª ed.). Caracas, Venezuela: Ediciones FONINVES.

González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica* (1ª ed.). Madrid, España: Pearson Education.

Goodman, R. (1989). *Introduction to Rock Mechanics* (2ª ed.). New York, Estados Unidos: Editorial Jhon Wiley & Sons.

Grande, S. (1996). *Cristalografía de rayos X. Guías de estudio*. UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica: 2 – 10.

Grim, R. (1962). *Applied Clay Mineralogy* (1ª Ed.). New York, Estados Unidos de América: Editorial Mc Graw Hill Book Company.

Hurlbut, C. (1976). *Manual de Mineralogía de Dana* (1ª ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté.

Holtz, R. y Kovacs, W. (1981) *An Introduction to Geotechnical Engineering*. New Jersey, Estados Unidos de América: Editorial Prentice Hall.

Krumbein, W. y Sloss, LL. (1969). *Estratigrafía y Sedimentación*. (1ª ed.). Ciudad de México, México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana

Lambe, W. (2001). *Mecánica de Suelos* (2ª ed.). Ciudad de México, México: Editorial Limusa.

López, R., Hétier, J., Schargel, R. y otros (2015). *Tierras Llaneras en Venezuela... tierras de buena esperanza*. (1ª ed.). Consejo de Publicaciones de la Universidad de Los Andes, Mérida.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. *Método de Diseño de Pavimentos Flexibles*. 1982

Morales, A. y Viloria, J. (2005) *Interrelación entre unidades geológicas y propiedades del suelo en la cuenca alta del río Guárico, Venezuela*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología. Maracay.

Ortiz, L. (1998). *Elasticidad* (3ª ed.). Madrid, España: Editorial McGraw Hill.

Padrón, A. (2010). *Caracterización mineralógica de suelos arcillosos en tres localidades: tramo Elorza - Guasualito, carretera Falcón - Zulia y la Ciudad*

Universitaria de Caracas, y determinación de sus propiedades de expansión medidas con un dispositivo experimental. Caracas.

Patterson, J. y Wilson, J. (1953) *Oil Fields of Mercedes Region, Venezuela*. American Association of Petroleum Geologists. Boletín 37 (12): 2705 – 2723.

Pettijohn, F. (1970). *Rocas Sedimentarias*. (4^a ed.). Buenos Aires, Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires C.A. EUDEBA

Poppe, L., Paskevich, V. y otros (2001). *A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction*. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041.

Quarfoth, K. y Caudri, J. (1961). *Relationship of the Roblecito and La Pascua formations of Eastern Venezuela to the Paují and equivalents of the Barinas Basin*. Boletín Informativo de la Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo, 4 (7): 219 – 225.

Ramírez C., G. C. (2011). *Estudio geoelectrico con fines de prospección de aguas subterráneas en zonas aledañas a la estación terrena de control del satélite Simón Bolívar, Estado Guárico*. Caracas.

Rivadeneyra, E. (2014) *Descripción geológica y cálculo de reservas de arcillas de la Cantera " La Cabrera", municipio Tomás Lander, estado Miranda*. Caracas

Romero E., J. L. (2011). *Estudio geológico-geotécnico en base a los núcleos de limolita obtenidos en las perforaciones del III Puente Sobre el Río Orinoco*. Caracas.

Santamarina, (2008) *Clasificación de Suelos: Fundamento, Prácticas Actuales y Recomendaciones*. Ponencia presentada en la Conferencia 50 Aniversario Sociedad Venezolana de Geotecnia.

Salcedo, D. (1969). *Hacia una definición geotécnica de suelo y roca*. Trabajo presentado en el IV Congreso Geológico Venezolano. Caracas.

Seed, H.B., Woodward, R.J. and Lundgren, R. (1962). *Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, 88, 53-87.

Serway, R. (1996) *Física* (4ª ed.). Ciudad de México, México: Editorial McGraw Hill Latinoamericana.

Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* (1ª ed.). Bucaramanga, Colombia: Editorial Ingeniería de Suelos Limitada.

Tarbut, E. y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción a la Geología Física* (8ª ed.). Madrid, España: Pearson Prentice Hall.

Terzaghi, K. y Peck, R. (1955). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. (2ª ed.). Editorial Ateneo. Barcelona.

Ugas, C. (1981). *Ensayos de Laboratorio en Mecánica de Suelos*. (1ª ed.). Caracas, Venezuela: Publicaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

Williams, A. (1957). *The specific Surface, water affinity and potential expansiveness of clays*. Clay Minerals Bulletin, 3: 120 – 128.

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS										
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m³	C t/m²	φ (°)		
1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			DURA	M	44							12,10																	
2	1,55 - 2,00			M		17								16,33					29	17	12	2,12	1,81	17,02							
3	2,55 - 3,00			M		18			0	17	83		18,00									2,08	1,76	17,99	2,77						
4	3,55 - 4,00				MEDIA	M	19			13	55	32		17,80								2,07	1,76	17,76							
5	4,55 - 5,00				BLANDA	M	20			0	27	73		24,99																	
6	5,55 - 6,00				MEDIA	M	18							9,20																	
7	6,55 - 7,00					M	12			71	25	4		4,38																	
8	7,55 - 8,00				SUELTA	M	30							6,84																	
9	8,55 - 9,00				MEDIA	M	37			49	42	9		7,00																	
10	9,55 - 10,00				DURA	M	51							18,93																	
11	10,55 - 11,00					M	65								19,15								2,23	1,84	21,10						
12	11,55 - 12,00					M	69								18,55					53	25	28	2,15	1,82	17,93						
13	12,55 - 13,00					M	72								18,87																
14	13,55 - 14,00					M	60								13,20																
15	14,55 - 15,00					M	70								16,25					53	26	27									
16	15,55 - 16,00					R									18,40								2,20	1,84	19,50						
17	16,55 - 17,00					M	60								23,60					53	24	29									
18	17,55 - 18,00					M	60								14,21																
19	18,55 - 19,00					M	65																								
20	19,55 - 20,00					M	60								17,40																
					con grava fina redondeada																										

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero 	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
							HOJA: 1/1
						PERFORACION No	BH - 1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS											
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	w (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _n t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)	
																														TAM. 4 10 40 200
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Limo arenoso marrón (ML)	DURA	M	45						8,01																
2	1.55 - 2.00				M	55							8,39																	
3	2.55 - 3.00				Arcilla de baja plasticidad marrón (CH)	MUY FIRME	M	21							22,46															
4	3.55 - 4.00						M	22							20,36															
5	4.55 - 5.00						M	28							22,92															
6	5.55 - 6.00						M	29							21,67															
7	6.55 - 7.00						M	16			0	14	86		20,15							2,75								
8	7.55 - 8.00					FIRME	M	15							17,85															
9	8.55 - 9.00						M	11							22,08															
10	9.55 - 10.00				Grava limpia redondeada, con arena fina marrón (GP)	MEDIANA	M	26							6,58															
11	10.55 - 11.00						M	29							5,76															
12	11.55 - 12.00				Arcilla limosa marrón amarillento (CL)	DENSA	M	45			49	42	9		3,64															
13	12.55 - 13.00					DURA	M	57								22,37														
14	13.55 - 14.00						M	68								24,16														
15	14.55 - 15.00						M	65								21,27														
16	15.55 - 16.00						M	76								15,45														
17	16.55 - 17.00						M	80			0	17	83		16,34							2,79								
18	17.55 - 18.00						M	82								20,36														
19	18.55 - 19.00						Arcilla arenosa dura, ligeramente calcárea, gris (Lutita descompuesta) (RDd)	M	91							14,61														
20	19.55 - 20.00							M	98								12,88													
21	20.55 - 21.00							R									13,01													
22	21.55 - 22.00							R									11,87													
23	22.55 - 23.00				R										14,66															

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático S Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
								N (SPT)	Resistencia a la penetración N°. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m ³	γ _d t/m ³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m ²)/ Angulo de Fricción (φ)				q _u (Penetrómetro) t/m ²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m ²	S _u (Compresión) t/m ³	C t/m ²	φ (°)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													</

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión ϕ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA:
						1/1
				PERFORACION No	BH - 9	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS													
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)				q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m³	C t/m²	φ (°)
1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			DURA	M	44							12,70																		
2	1,55 - 2,00			M		79								17,30					27	16	11	2,12	1,75	21,10								
3	2,55 - 3,00			M		65			0	18	82		15,90				35	19	16	2,15	1,83	17,60	2,75									
4	3,55 - 4,00			Arena fina arcillosa marrón grisáceo (SC)	MEDIA	M	54			9	52	39		18,40							2,17	1,83	18,60									
5	4,55 - 5,00			Arcilla arenosa marrón grisáceo (CL)	BLANDA	M	22			0	36	64		21,40																		
6	5,55 - 6,00			Grava limpia arenosa, redondeada marrón grisáceo (GM - GP)	MEDIA	M	16							11,10																		
7	6,55 - 7,00					M	21			51	34	15		5,30																		
8	7,55 - 8,00				SUELTA	M	15							6,30																		
9	8,55 - 9,00			Arcilla de alta plasticidad limosa gris (CH)	MEDIA	M	57			47	45	8		5,90																		
10	9,55 - 10,00				DURA	M	56							17,90																		
11	10,55 - 11,00					M	52							21,60					2,18	1,82	19,70											
12	11,55 - 12,00					M	47							18,80					52	26	26	2,03	1,71	18,70								
13	12,55 - 13,00					M	87							18,30																		
14	13,55 - 14,00					M	65							11,30																		
15	14,55 - 15,00					M	57							17,80					53	24	29											
16	15,55 - 16,00					R								17,20								2,14	1,79	19,50								
17	16,55 - 17,00					M	80							19,50					49	22	27											
18	17,55 - 18,00					M	67							15,20																		
19	18,55 - 19,00					R																										
20	19,55 - 20,00					R								16,10																		

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO			
							HOJA: 1/1	
								PERFORACION No

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS										
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m³	C t/m²	φ (°)
1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			DURA	M	45							13,20															
2	1,55 - 2,00			Arcilla de baja plasticidad marrón (CL)		M	81							16,73				28	16	12									
3	2,55 - 3,00					M	71							17,80															
4	3,55 - 4,00			Arena fina arcillosa marrón grisáceo (SC)	MEDIA	M	56							17,98															
5	4,55 - 5,00			Arcilla arenosa marrón grisáceo (CL)	BLANDA	M	24							23,70															
6	5,55 - 6,00			Grava limpia arenosa, redondeada marrón grisáceo (GM - GP)	MEDIA	M	15							10,20															
7	6,55 - 7,00					M	18							6,60															
8	7,55 - 8,00				SUELTA	M	14							7,20															
9	8,55 - 9,00			Arcilla de alta plasticidad limosa gris (CH)	MEDIA	M	53							7,40															
10	9,55 - 10,00				DURA	M	58							18,50															
11	10,55 - 11,00					M	54							22,40															
12	11,55 - 12,00					M	44							19,40				53	25	28									
13	12,55 - 13,00					M	81							18,65															
14	13,55 - 14,00					M	76							13,40															
15	14,55 - 15,00					M	62							18,30				52	25	27									
16	15,55 - 16,00					R								18,20															
17	16,55 - 17,00					M	77							21,60				50	23	27									
18	17,55 - 18,00					M	65							16,40															
19	18,55 - 19,00					R																							
20	19,55 - 20,00			con grava fina redondeada		R								17,60															

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión ϕ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA:
						1/1
				PERFORACION No	BH - 7	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN					GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS															
								N (SPT)	Resistencia a la penetración N°. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA	ARENA	FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m³	C t/m²	φ (°)						
0	20	40	60	80	100	G	F	G	TAM. 4	10	40	200	20	40	60	80	20	40	60	80	q _u	Compresión	q _u	S _u	C	φ											
1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			Trazas de capa vegetal	DURA	M	43									13,20					2,11	1,79	17,90	2,77												
2	1,55 - 2,00				M		79										16,73				27	15	12														
3	2,55 - 3,00				M		69				0	17	83				17,80									2,01	1,68	19,40		▲							
4	3,55 - 4,00				Arena fina arcillosa marrón grisáceo (SC)	MEDIA	M	58				15	52	33					17,98					2,14	1,81	18,10		▲									
5	4,55 - 5,00				Arcilla arenosa marrón grisáceo (CL)	BLANDA	M	23				0	28	72					23,70																		
6	5,55 - 6,00				Grava limpia arenosa, redondeada marrón grisáceo (GM - GP)	MEDIA	M	19											10,20																		
7	6,55 - 7,00						M	17		54	33	13					6,60																				
8	7,55 - 8,00					SUELTA	M	14									7,20																				
9	8,55 - 9,00					MEDIA	M	61			45	46	9				7,40																				
10	9,55 - 10,00				Arcilla de alta plasticidad limosa gris (CH)	DURA	M	65											18,50																		
11	10,55 - 11,00						M	54										22,40								2,27	1,87	21,40									
12	11,55 - 12,00						R											19,40								2,12	1,77	19,60			▲	△					
13	12,55 - 13,00						M	83										18,65																			
14	13,55 - 14,00						M	80										13,40																			
15	14,55 - 15,00						R											18,30																			
16	15,55 - 16,00						M	56										18,20																			
17	16,55 - 17,00						M	79										21,60																			
18	17,55 - 18,00						M	63										16,40																			
19	18,55 - 19,00						R																														
20	19,55 - 20,00				con grava fina redondeada	R										17,60																					

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
							HOJA: 1/1
						PERFORACION No	BH - 6

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN					GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS			ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico		LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m ³	γ _d t/m ³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m ²)/ Angulo de Fricción (φ)				q _u (Penetrómetro) t/m ²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m ²	S _u (Compresión) t/m ³	C t/m ²	φ (°)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
													TAM. 4	10	40		200	20								40	60	80	20							40	60	80	q _u	φ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			Trazas de capa vegetal	DURA	M	46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1
				PERFORACION No		BH - 5

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN					GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																											
								N (SPT)	Resistencia a la penetración N°. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA	ARENA	FINOS	w (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m³	C t/m²	φ (°)																		
TAM. 4 10 40 200					20 40 60 80					20 40 60 80					20 40 60 80					q _u (Penetrómetro) t/m²					Tipo de Compresión					q _u (Compresión) t/m²					S _u (Compresión) t/m³					C t/m²					φ (°)				

1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			Trazas de capa vegetal	DURA	M	29							9,93																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									</
---	-------------	-----------	--	--	------------------------	------	---	----	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión ϕ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA:
						1/1
				PERFORACION No	BH - 4	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN					GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS													
								N (SPT)	Resistencia a la penetración N°. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA	ARENA	FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m ³	γ _d t/m ³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m ²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m ²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m ²	S _u (Compresión) t/m ³	C t/m ²	φ (°)				
0	20	40	60	80	100	G	F	G	TAM. 4	10	40	200	20	40	60	80	20	40	60	80	q _u	Compresión	Compresión	Compresión	C	φ									
1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			DURA	M	39																												
2	1,55 - 2,00		M	48																															
3	2,55 - 3,00		M	23				0	17	83																									
4	3,55 - 4,00		Arena fina arcillosa marrón grisáceo (SC)	MEDIA	M	21																													
5	4,55 - 5,00		Arcilla arenosa marrón grisáceo (CL)	BLANDA	M	27																													
6	5,55 - 6,00		Grava limpia arenosa, redondeada marrón grisáceo (GM - GP)	MEDIA	M	30																													
7	6,55 - 7,00				M	20			69	26	5																								
8	7,55 - 8,00			SUELTA	M	18																													
9	8,55 - 9,00				M	15			52	40	8																								
10	9,55 - 10,00			MEDIA	M	23																													
11	10,55 - 11,00				M	28																													
12	11,55 - 12,00		Arcilla de alta plasticidad limosa gris (CH)	DURA	M	42																													
13	12,55 - 13,00				M	51																													
14	13,55 - 14,00				M	70																													
15	14,55 - 15,00				M	67																													
16	15,55 - 16,00				M	77																													
17	16,55 - 17,00				M	79																													
18	17,55 - 18,00				M	82																													
19	18,55 - 19,00				M	83																													
20	19,55 - 20,00				M	89																													
					con grava fina redondeada																														

LEYENDA	Tipo de Muestreador		Ensayos		TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
	M:	Muestra SPT	Gs : Peso específico	+ : Límite líquido			
	R:	Rotación	γ_h : Peso unitario húmedo	+ : Límite plástico			
	SH:	Shelby	γ_d : Peso unitario seco				
	D:	Deninson	q _u : Resistencia al corte				
	NR:	No Recupero	▲ : Penetrómetro				
		Nivel Freático	Δ : Compresión				
			CSC : Compresión sin confinar				
			c : Cohesión				
			φ : Angulo de fricción interna (°)				
		○ : Ensayo de Corte directo					
		</					

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS													
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA	ARENA	FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m ³	γ _d t/m ³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m ²)/ Angulo de Fricción (φ)				q _u (Penetrómetro) t/m ²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m ²	S _u (Compresión) t/m ³	C t/m ²	φ (°)
1	0,55 - 1,00	ALUVIONAL			DURA	M	48									11,53																		
2	1,55 - 2,00			M		15										16,90		28	16	12	2,13	1,82	16,90											
3	2,55 - 3,00			M		46			0	17	83						17,09					2,07	1,77	17,09	2,76									
4	3,55 - 4,00			Arena fina arcillosa marrón grisáceo (SC)	MEDIA	M	21				14	54	32				18,06					2,07	1,75	18,06										
5	4,55 - 5,00			Arcilla arenosa marrón grisáceo (CL)	BLANDA	M	8				0	28	72				25,08																	
6	5,55 - 6,00			Grava limpia arenosa, redondeada marrón grisáceo (GM - GP)	MEDIA	M	26									8,85																		
7	6,55 - 7,00					M	27					69	26	5				4,68																
8	7,55 - 8,00				SUELTA	M	7									6,98																		
9	8,55 - 9,00				MEDIA	M	25					52	40	8				6,91																
10	9,55 - 10,00			Arcilla de alta plasticidad limosa gris (CH)	DURA	M	68									19,60																		
11	10,55 - 11,00					M	60										19,02					2,14	1,80	19,02										
12	11,55 - 12,00					M	60										18,29		54	26	28	2,13	1,80	18,29										
13	12,55 - 13,00					M	70										18,99																	
14	13,55 - 14,00					M	53										12,63																	
15	14,55 - 15,00					M	44										15,16		52	25	27													
16	15,55 - 16,00					M	41										17,26					2,13	1,82	17,26										
17	16,55 - 17,00					M	48										26,78		56	26	30													
18	17,55 - 18,00					M	66										13,58																	
19	18,55 - 19,00					R																												
20	19,55 - 20,00			con grava fina redondeada		M	71									16,20																		

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1
				PERFORACION No BH - 2		

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS															
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS				w (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico		LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	w (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)				q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)
													TAM. 4 10 40 200	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80		q _u (Penetrómetro) t/m²	q _u (Compresión) t/m²								S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)							
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad, algo arenosa, ligeramente orgánica marrón oscuro (CL)	FIRME	M	11							15,55																					
2	1.55 - 2.00					MEDIANA	M	8							18,80		43	23	20																	
3	2.55 - 3.00						M	8		0	11	89			17,20					2,04	1,71	19,10	2,75													
4	3.55 - 4.00					FIRME	M	13							14,50					2,03	1,77	14,50														
5	4.55 - 5.00					MUY FIRME	M	17							17,50																					
6	5.55 - 6.00						M	25							11,30																					
7	6.55 - 7.00						M	22							12,60																					
8	7.55 - 8.00				M		26							11,80																						
9	8.55 - 9.00				M		29							12,70			31	16	14																	
10	9.55 - 10.00				DURA	M	30		0	35	65			13,10						2,74																
11	10.55 - 11.00				Arcilla de baja plasticidad limosa marrón (CL)	MUY FIRME	M	24							13,90																					
12	11.55 - 12.00					DURA	M	30							13,40																					
13	12.55 - 13.00						M	39							14,70																					
14	13.55 - 14.00						M	34							16,40																					
15	14.55 - 15.00						M	31							16,60																					
16	15.55 - 16.00						M	46							16,70																					
17	16.55 - 17.00						M	55							17,90			24	14	11																
18	17.55 - 18.00						M	50							18,70																					
19	18.55 - 19.00						M	52							20,00																					
20	19.55 - 20.00						M	52							18,40																					

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	±: Límite líquido +: Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
							HOJA: 1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS									
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)	
																														0 20 40 60 80
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad arenosa marrón (CL)	MUY FIRME	M	19						11,10																
2	1.55 - 2.00					DURA	M	38						8,80		31	17	14												
3	2.55 - 3.00					MUY FIRME	M	26						7,20																
4	3.55 - 4.00					DURA	M	66		0	36	64		5,50						2,76										
5	4.55 - 5.00				Grava angulosa limosa (GM - GP)	MUY FIRME	M	28						3,20																
6	5.55 - 6.00					DURA	M	30		44	49	7		6,60																
7	6.55 - 7.00				Limo arenoso marrón (ML)		M	37						5,10		22	19	4												
8	7.55 - 8.00						M	36		1	34	65		6,70																
9	8.55 - 9.00				Grava fina limpia con arena marrón (GM - GP)	DENSE	M	44						7,60																
10	9.55 - 10.00						M	50						10,10																
11	10.55 - 11.00						M	38						8,80																
12	11.55 - 12.00						M	40		49	42	9		7,23																
13	12.55 - 13.00						M	34						7,72																
14	13.55 - 14.00				Arena limpia con grava marrón grisáceo (SM - SP)	MUY DENSE	M	55						9,30																
15	14.55 - 15.00						M	62						10,00																
16	15.55 - 16.00						M	57						8,40																
17	16.55 - 17.00						M	45		38	55	7		8,80																
18	17.55 - 18.00						M	45						10,40																
19	18.55 - 19.00						M	66						9,50																
20	19.55 - 20.00						M	65						11,60																

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico
---------	--	--

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad ligeramente orgánica marrón oscuro (CL)	FIRME	M	9																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS												
								N (SPT)	Resistencia a la penetración N°. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE N° 200	GRAVA ARENA FINOS	w (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (°)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)				
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			marrón gris claro con presencia de raicillas	MUY FIRME	M	16																									
2	1.55 - 2.00						M	21																									
3	2.55 - 3.00						M	22																									
4	3.55 - 4.00						M	21		0	5	95																					
5	4.55 - 5.00						M	27																									
6	5.55 - 6.00						M	27																									
7	6.55 - 7.00				Arcilla de baja plasticidad limosa marrón claro (CL)	MUY FIRME	M	19																									
8	7.55 - 8.00						M	21																									
9	8.55 - 9.00						M	24		0	35	65					2,14	1,88	13,80	2,76													
10	9.55 - 10.00					DURA	M	34																									
11	10.55 - 11.00						M	41																									
12	11.55 - 12.00						M	57																									
13	12.55 - 13.00						M	67																									
14	13.55 - 14.00					MUY FIRME	M	19																									
15	14.55 - 15.00						M	24																									
16	15.55 - 16.00					DURA	M	34																									
17	16.55 - 17.00					MUY FIRME	M	26																									
18	17.55 - 18.00						M	26																									
19	18.55 - 19.00					DURA	M	39																									
20	19.55 - 20.00						M	66																									

LEYENDA

Tipo de Muestreador
M: Muestra SPT
R: Rotación
SH: Shelby
D: Deninson
NR: No Recupero
Nivel Freático
RES Suelo de origen residual
RELL Material de relleno

Ensayos
Gs : Peso específico
γ_h : Peso unitario húmedo
γ_d : Peso unitario seco
q_u : Resistencia al corte
▲ : Penetrómetro
Δ : Compresión
CSC : Compresión sin confinar
c : Cohesión
φ : Angulo de fricción interna (°)
○ : Ensayo de Corte directo

✚ : Límite líquido
✚ : Límite plástico

FECHA:
Mayo 2018

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO

PERFORACION No

BH - 27

HOJA:
1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS										
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS 	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m ³	γ _d t/m ³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m ²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m ²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m ²	S _u (Compresión) t/m ²	C t/m ²	φ (°)
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad arenosa marrón (CL) capa vegetal	MEDIANA	M	5							14,40														
2	1.55 - 2.00				Arcilla de baja plasticidad ligeramente orgánica marrón oscuro (CL)	FIRME	M	12							18,00														
3	2.55 - 3.00						M	11						17,30	+	39	20	19											
4	3.55 - 4.00						M	14						20,90															
5	4.55 - 5.00						MUY FIRME	M	19						16,00														
6	5.55 - 6.00				M	23							17,20																
7	6.55 - 7.00				Arcilla de baja plasticidad marrón claro (CL)	DURA	M	31						15,80															
8	7.55 - 8.00						M	34						15,30	+	35	19	16											
9	8.55 - 9.00														+														
10	9.55 - 10.00						M	42						14,20															
11	10.55 - 11.00						M	56						15,00															
12	11.55 - 12.00						M	39						16,80															
13	12.55 - 13.00						M	56						17,10															
14	13.55 - 14.00						M	34						19,60															
15	14.55 - 15.00						M	56						19,00	+	36	19	17											
16	15.55 - 16.00						M	25						17,90	+														
17	16.55 - 17.00						M	34						18,90															
18	17.55 - 18.00						M	30						19,30															
19	18.55 - 19.00						M	38						17,50	+	27	16	11											
20	19.55 - 20.00						M	56						17,50	+														

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1
	PERFORACION No			BH - 26		

[illegible]

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	w (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _n t/m³	γ _d t/m³	ω (‰)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
										0 10 20 30 40 50 60	G F G	TAM. 4 10 40 200	20 40 60 80																	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS									
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)	
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad limosa marrón (CL)	FIRME	M	11							17,20															
2	1.55 - 2.00						M	14							16,10															
3	2.55 - 3.00						M	10							27,16					2,17	1,86	16,70	2,74							
4	3.55 - 4.00						M	10							23,40					2,04	1,65	23,40								
5	4.55 - 5.00						M	11							24,60					2,01	1,61	24,60								
6	5.55 - 6.00					MUY FIRME	M	19						23,20					1,92	1,55	24,18									
7	6.55 - 7.00					FIRME	M	12						22,20					2,03	1,64	23,82									
8	7.55 - 8.00						M	13						23,90					2,04	1,65	23,90									
9	8.55 - 9.00					MUY FIRME	M	17						22,10					2,02	1,65	22,70									
10	9.55 - 10.00						M	26						22,50					2,08	1,70	22,50									
11	10.55 - 11.00				Arena de grano mediano y fino limpia marrón (SM - SP)	MEDIANA	M	30						18,40																
12	11.55 - 12.00					DENSA	M	37						19,50																
13	12.55 - 13.00						M	40						23,70																
14	13.55 - 14.00				Grava limpia, fina marrón grisáceo (GP)	MEDIANA	M	30						18,50																
15	14.55 - 15.00					MUY DENSA	M	56						6,80																
16	15.55 - 16.00				Arena de grano fino y mediano débilmente arcillosa marrón grisáceo (SC)		M	55						25,40																
17	16.55 - 17.00						M	59						20,70																
18	17.55 - 18.00						M	65						25,80																
19	18.55 - 19.00				Grava limpia, fina marrón (GP)		M	72						8,74																
20	19.55 - 20.00				Arena de grano fino y mediano limpia marrón (SM - SP)		M	62					41	53	6			10,90												

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos G _s : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo ✚ : Límite líquido ✚ : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO

PERFORACION No		BH - 23	
----------------	--	---------	--

HOJA: 1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS				ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico		LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)					q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
													TAM. 4 10 40 200	20	40	60		80	0								50	100	150	200																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad limosa marrón claro moteado de gris (CL)	FIRME	M	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero ▲ Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
							HOJA: 1/1
					PERFORACION No		BH - 22

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS												
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS TAM. 4 10 40 200	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico		LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)	
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			presencia de raicillas	MEDIANA	M	9							9,30																
2	1.55 - 2.00				FIRME	M	10						10,30																		
3	2.55 - 3.00				MEDIANA	M	8			30	40	94		10,10						2,75											
4	3.55 - 4.00						M	16						10,70																	
5	4.55 - 5.00						M	16							9,80																
6	5.55 - 6.00						M	21							10,60																
7	6.55 - 7.00						M	27							11,50																
8	7.55 - 8.00						M	20							15,30																
9	8.55 - 9.00						M	25							12,90					2,20	1,95	12,90			▲	△	>45.00	CSC	137,81	68,91	
10	9.55 - 10.00						M	28							15,16					2,14	1,86	15,16			▲	△	>45.00	CSC	57,70	28,85	
11	10.55 - 11.00						M	41							15,10					2,18	1,89	15,10			▲	△	>45.00	CSC	67,77	33,89	
12	11.55 - 12.00						M	41							19,40					2,19	1,83	19,40			▲	△	35,00	CSC	92,90	46,45	
13	12.55 - 13.00						M	35							16,10										▲						
14	13.55 - 14.00						M	32							14,00																
15	14.55 - 15.00						M	55							16,50																
16	15.55 - 16.00						M	43							15,95																
17	16.55 - 17.00						M	60							16,00																
18	17.55 - 18.00						M	66							15,90					28	14	14									
19	18.55 - 19.00						M	68							17,20																
20	19.55 - 20.00						M	65							16,50																

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero ▲ Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
							HOJA: 1/1
					PERFORACION No		BH - 21

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS													
								N (SPT)	Resistencia a la penetración N°. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE N° 200	GRAVA	ARENA	FINOS	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (°%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)			
										G	F	G	TAM. 4 10 40 200	20 40 60 80	20 40 60 80																	20 40 60 80	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de alta plasticidad ligeramente orgánica marrón oscuro (CH)	MUY FIRME	M	19																										
2	1.55 - 2.00						M	16																										
3	2.55 - 3.00						M	24																										
4	3.55 - 4.00					DURA	M	38			0	4	96																					
5	4.55 - 5.00				Arcilla de baja plasticidad marrón claro moteado de gris (CL)	MUY FIRME	M	21																										
6	5.55 - 6.00						M	24																										
7	6.55 - 7.00					DURA	M	33																										
8	7.55 - 8.00					MUY FIRME	M	17																										
9	8.55 - 9.00						M	16			0	15	85																					
10	9.55 - 10.00						M	23																										
11	10.55 - 11.00						M	21																										
12	11.55 - 12.00						M	30																										
13	12.55 - 13.00					DURA	M	31																										
14	13.55 - 14.00						M	38																										
15	14.55 - 15.00						M	41																										
16	15.55 - 16.00						M	62			0	38	62																					
17	16.55 - 17.00				presencia de lentes arcillosos	MUY DENSA	M	66																										
18	17.55 - 18.00						M	59																										
19	18.55 - 19.00					DENSA	M	48			0	86	14																					
20	19.55 - 20.00					MUY DENSA	M	76																										

LEYENDA

Tipo de Muestreador
M: Muestra SPT
R: Rotación
SH: Shelby
D: Deninson
NR: No Recupero
NF: Nivel Freático
RES Suelo de origen residual
RELL Material de relleno

Ensayos
Gs : Peso específico
γ_h : Peso unitario húmedo
γ_d : Peso unitario seco
q_u : Resistencia al corte
▲ : Penetrómetro
Δ : Compresión
CSC : Compresión sin confinar
c : Cohesión
φ : Angulo de fricción interna (°)

+ : Límite líquido
+ : Límite plástico

FECHA:
Mayo 2018

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO

PERFORACION No

BH - 20

HOJA:
1/1

[illegible]

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte  : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión ϕ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
					PERFORACION No BH - 19		HOJA: 1/1

[illegible]

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte  : Penetrómetro  : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión ϕ : Angulo de fricción interna (°)  : Ensayo de Corte directo  :Límite de consistencia	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
				PERFORACION No BH - 18		HOJA: 1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS													
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS			ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico		LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m ³	γ _d t/m ³	ω (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m ²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m ²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m ²	S _u (Compresión) t/m ²	C t/m ²	φ (°)
													TAM. 4 10 40 200	20 40 60 80	20 40 60 80		20 40 60 80	q _u (Penetrómetro) t/m ²														
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Capa vegetal	FIRME	M	9																								
2	1.55 - 2.00			Arcilla de baja plasticidad arenosa ligemente calcárea marrón claro (CL)	MUY FIRME	M	26																									
3	2.55 - 3.00				DURA	M	38				0	4	96		13,40					2,10	1,77	18,60	2,73									
4	3.55 - 4.00			Arcilla de baja plasticidad limosa marrón claro moteado de gris y amarillento (CL)	MUY FIRME	M	28												2,13	1,82	16,80											
5	4.55 - 5.00				DURA	M	38														2,15	1,85	16,00									
6	5.55 - 6.00				MUY FIRME	M	21																									
7	6.55 - 7.00					M	23															2,06	1,71	20,70								
8	7.55 - 8.00					M	30															2,13	1,78	19,50								
9	8.55 - 9.00				DURA	M	39				0	20	80		16,90						2,12	1,81	16,90	2,73								
10	9.55 - 10.00				FIRME	M	14														2,12	1,80	17,60									
11	10.55 - 11.00				DURA	M	61																									
12	11.55 - 12.00			Arena de grano mediano y fino limpia marrón claro (SM - SP)	DENSA	M	35																									
13	12.55 - 13.00				MUY DENSA	M	56																									
14	13.55 - 14.00					M	67																									
15	14.55 - 15.00					M	68		0	92	8		19,10																			
16	15.55 - 16.00					M	56																									
17	16.55 - 17.00				DENSA	M	41																									
18	17.55 - 18.00				MUY DENSA	M	60																									
19	18.55 - 19.00					M	68		13	77	10		10,74																			
20	19.55 - 20.00		con grava	MEDIANA	M	20																										

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Limite líquido + : Limite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN					GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
																														0 25 50 75 100 125	G F G	TAM. 4 10 40 200	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero ▲ Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1
				PERFORACION No BH - 16		

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN					GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																		
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS			w (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico		LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ_h t/m³	γ_d t/m³	w (%)	Gs	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)				q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)					
													TAM. 4 10 40 200																											
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad marrón (CL)	MEDIA	M	7								21,96																								
2	1.55 - 2.00					DURA	M	31								14,87																								
3	2.55 - 3.00					MUY FIRME	M	35								14,76																								
4	3.55 - 4.00						M	24								18,75																								
5	4.55 - 5.00						M	21								21,96																								
6	5.55 - 6.00						M	22								20,52																								
7	6.55 - 7.00				Grava limpia arenosa, marrón amarillento (GP)	DENSEA	M	31								7,37																								
8	7.55 - 8.00						M	32		55	35	10				5,49																								
9	8.55 - 9.00						M	40								6,54																								
10	9.55 - 10.00				Arena media a fina, limpia con grava, marrón (SP)	MUY DENSEA	M	50								9,62																								
11	10.55 - 11.00						M	37								6,45																								
12	11.55 - 12.00				Grava limpia redondeada, con arena fina marrón (GP)	MEDIANA	M	41								5,78																								
13	12.55 -13.00						M	39								21,56																								
14	13.55 - 14.00				Arcilla limosa marrón amarillento (CL)	DURA	M	45								19,45																								
15	14.55 -15.00						M	47								18,45																								
16	15.55 - 16.00				Arcilla de baja plasticidad, arenosa, ligeramente calcárea, gris (Lutita descompuesta) (RDd)		M	58								14,54																								
17	16.55 - 17.00						M	62								18,23																								
18	17.55 - 18.00						M	67								23,12																								
19	18.55 - 19.00						M	78								19,36																								
20	19.55 - 20.00						M	83								15,57																								

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero ▲ Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
							HOJA: 1/1
					PERFORACION No BH - 15		

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN					GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS																	
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico				LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)				q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)				
0	20	40	60	80	100	G	F	G	TAM. 4 10 40 200	20	40	60	80	LL (%)	LP (%)	IP (%)					20	40	60	80	q _u														
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad limosa marrón (CL)	MUY FIRME	M	25							0	7	93		17,27									2,76											
2	1.55 - 2.00						M	29											17,35																				
3	2.55 - 3.00						M	16											17,15																				
4	3.55 - 4.00						M	18											15,90																				
5	4.55 - 5.00						M	17											16,84																				
6	5.55 - 6.00						M	26											18,77																				
7	6.55 - 7.00						M	28											18,75																				
8	7.55 - 8.00						Arena de grano medio y fino, limpia, con grava, marrón (SP)	DENSA	M	38																													
9	8.55 - 9.00				MUY DENSA	M		51						30	59	11		10,26																					
10	9.55 - 10.00				DENSA	M		32										10,62																					
11	10.55 - 11.00				Grava limpia redondeada, con arena fina marrón (GP)	MEDIANA	M	23										7,43																					
12	11.55 -12.00						M	39											5,87																				
13	12.55 - 13.00				Arcilla limosa marrón amarillento (CL)	DENSA	M	48										19,76																					
14	13.55 - 14.00						M	57											21,43																				
15	14.55 - 15.00				Arcilla de baja plasticidad arenosa, ligeramente calcárea, gris (Lutita descompuesta) (RDd)	DURA	M	71										16,54																					
16	15.55 - 16.00						M	64											18,65																				
17	16.55 - 17.00						M	79											12,33									43	21	22									
18	17.55 - 18.00						M	80											17,22																				
19	18.55 - 19.00						M	80											19,19																				
20	19.55 - 20.00						M	83											16,32																				

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
							HOJA: 1/1
						PERFORACION No	BH - 14

[illegible]

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero  Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
					PERFORACION No BH - 13		HOJA: 1/1

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS											
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	w (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (‰)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)	
																														0 20 40 60 80 100
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad marrón oscuro (CL)	DURA	M	33							16,80															
2	1.55 - 2.00						M	50		0	9	91		12,63	+	+					28	16	12							
3	2.55 - 3.00						M	70						15,36	+						45	21	24							
4	3.55 - 4.00						M	62						19,06	+															
5	4.55 - 5.00						M	39						23,42							43	24	19							
6	5.55 - 6.00				Arcilla arenosa marrón oscuro (CL)		M	35					9,75																	
7	6.55 - 7.00				Arena limosa con grava marrón (SM)	ligeramente arcillosa	MEDIANA	M	16		8	63	29		13,59															
8	7.55 - 8.00							M	13		22	65	13		9,68															
9	8.55 - 9.00						SUELTA	M	10					7,88																
10	9.55 - 10.00						MEDIANA	M	15					11,25																
11	10.55 - 11.00							M	24					2,48																
12	11.55 - 12.00						DENSA	M	34		56	38	6		4,51															
13	12.55 - 13.00				Arcilla de alta plasticidad marrón grisáceo (CH)	DURA	M	44						15,85		+			54	26	28									
14	13.55 - 14.00						M	49						17,89																
15	14.55 - 15.00						M	61						17,00							52	25	27							
16	15.55 - 16.00				muy húmeda		M	58						24,60		+			32	20	12									
17	16.55 - 17.00						M	60		0	3	97		28,27		+	+						2,70							
18	17.55 - 18.00						M	66						13,09																
19	18.55 - 19.00						M	75						13,33																
20	19.55 - 20.00				Arcilla de baja plasticidad limosa gris (Lutita descompuesta) (RDd)		M	96					13,94						33	20	12									
21	20.55 - 21.00						R						12,97		+	+														
22	21.55 - 22.00						R						8,96																	
23	22.55 - 23.00						R						11,93																	

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1
					PERFORACION No	BH - 12

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS										
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	w (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (‰)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			presencia de raicillas ----- Arcilla de baja plasticidad marrón (CL)	DENSE	M	45							13,96														
2	1.55 - 2.00						M	33							16,57														
3	2.55 - 3.00					MUY FIRME	M	17							15,30														
4	3.55 - 4.00						M	17							17,15														
5	4.55 - 5.00						M	18							21,32														
6	5.55 - 6.00					FIRME	M	11		0	31	69		35,77							2,76								
7	6.55 - 7.00					MEDIANA	M	8							25,83														
8	7.55 - 8.00					MUY FIRME	M	16							20,40														
9	8.55 - 9.00						M	21							21,77														
10	9.55 - 10.00					Grava angulara con arena marrón grisáceo (GW)		MEDIANA	M	29						6,94													
11	10.55 - 11.00					Arena de grano mediano a fino, poco limosa, marrón amarillento (SM)	DENSE	M	34						8,46														
12	11.55 - 12.00				M			44							18,82														
13	12.55 - 13.00				M		40		31	47	22		12,82																
14	13.55 - 14.00					Arcilla de baja plasticidad finamente laminada gris (Lutita muy meteorizada, blanda) (Rmb)		MUY DENSE	M	61						12,06													
15	14.55 - 15.00					DURA	M	68						19,32															
16	15.55 - 16.00						M	76						16,96															
17	16.55 - 17.00						M	82						14,84															
18	17.55 - 18.00						M	81						14,16															
19	18.55 - 19.00						M	87						11,17															
20	19.55 - 20.00						M	111						14,46															
21	20.55 - 21.00						M	100						14,44															
22	21.55 - 22.00						R							11,24															
23	22.55 - 23.00						R							22,86															

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1
					PERFORACION No	BH - 11

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA				PROPIEDADES MECÁNICAS													
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	ω (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _n t/m ³	γ _d t/m ³	ω (°%)	G _s	Resistencia al corte (t/m ²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m ²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m ²	S _u (Compresión) t/m ²	C t/m ²	φ (°)				
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad, algo arenosa marrón (CL)	FIRME	M	9							9,92																		
2	1.55 - 2.00					FIRME	M	12							11,29																		
3	2.55 - 3.00						M	7							11,11			36	21	15													
4	3.55 - 4.00					FIRME	M	16		0	2	98		11,58							2,76												
5	4.55 - 5.00				DURA		Arcilla de baja plasticidad marrón oscuro (CL)		M	12					11,89																		
6	5.55 - 6.00								M	12						12,14																	
7	6.55 - 7.00								M	19						12,65																	
8	7.55 - 8.00								M	21						13,77																	
9	8.55 - 9.00					M	17						13,84																				
10	9.55 - 10.00					M	23		0	9	91		15,67			38	20	18		2,77													
11	10.55 - 11.00					M	17						15,78																				
12	11.55 - 12.00					M	19						16,23																				
13	12.55 - 13.00					M	34						16,62																				
14	13.55 - 14.00					M	41						16,93																				
15	14.55 - 15.00					Arcilla de baja plasticidad marrón claro moteado de gris (CL)		M	38					17,02																			
16	15.55 - 16.00							M	42						17,23																		
17	16.55 - 17.00							M	38		0	22	78		17,54			30	16	14		2,77											
18	17.55 - 18.00							M	44						17,78																		
19	18.55 - 19.00							M	56						18,00																		
20	19.55 - 20.00							M	61						17,99																		

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero NRF: Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos G _s : Peso específico γ _n : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO	
	PERFORACION No		BH - 34			
					HOJA: 1/1	

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN		GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS															
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS				w (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico		LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	w (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)		q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)
													TAM. 4 10 40 200	20 40 60 80	20 40 60 80	20 40 60 80		0 50 100 150 200	φ _u															
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad, algo arenosa marrón (CL)	MUY FIRME	M	5							11,12																			
2	1.55 - 2.00					FIRME	M	6								11,67																		
3	2.55 - 3.00						M	8								12,26																		
4	3.55 - 4.00					MUY FIRME	M	10			0	2	98			13,11																		
5	4.55 - 5.00						M	7								12,33																		
6	5.55 - 6.00						M	10								12,67																		
7	6.55 - 7.00				Arcilla de baja plasticidad marrón oscuro (CL)	DURA	M	14							13,87																			
8	7.55 - 8.00						M	19								15,25																		
9	8.55 - 9.00						M	17								14,89																		
10	9.55 - 10.00						M	20			0	9	91			15,44																		
11	10.55 - 11.00						M	15								17,01																		
12	11.55 - 12.00						M	25								16,88																		
13	12.55 - 13.00						M	16								15,99																		
14	13.55 - 14.00						M	18								15,32																		
15	14.55 - 15.00				Arcilla de baja plasticidad marrón claro moteado de gris (CL)		M	23							16,67																			
16	15.55 - 16.00						M	24								17,23																		
17	16.55 - 17.00						M	38			0	22	78			17,53																		
18	17.55 - 18.00						M	40								17,28																		
19	18.55 - 19.00						M	48								17,91																		
20	19.55 - 20.00						M	49							17,64																			

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero ▲ Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	+ : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
					HOJA: 1/1		
			PERFORACION No BH - 33				

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS											
								N (SPT)	Resistencia a la penetración Nº. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	w (%)	Humedad Natural Límite Líquido Límite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (°%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)			
0	50	100	150	200	G	F	G	TAM. 4 10 40 200		20	40	60	80					0	50	100	150	200										
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad, algo arenosa marrón (CL)	MUY FIRME	M	16																								
2	1.55 - 2.00					FIRME	M	9																								
3	2.55 - 3.00						M	15																								
4	3.55 - 4.00					MUY FIRME	M	21		0	2	98										2,77										
5	4.55 - 5.00						M	16																								
6	5.55 - 6.00						M	23																								
7	6.55 - 7.00				Arcilla de baja plasticidad marrón oscuro (CL)		M	19																								
8	7.55 - 8.00						M	31																								
9	8.55 - 9.00						M	36																								
10	9.55 - 10.00						M	39		0	9	91										2,75										
11	10.55 - 11.00					DURA	M	41																								
12	11.55 - 12.00						M	31																								
13	12.55 - 13.00						M	32																								
14	13.55 - 14.00						M	50																								
15	14.55 - 15.00						M	60																								
16	15.55 - 16.00						M	44																								
17	16.55 - 17.00						M	44		0	22	78										2,75										
18	17.55 - 18.00						M	55																								
19	18.55 - 19.00						M	48																								
20	19.55 - 20.00				M		66																									

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero ▲ Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos G _s : Peso específico γ _h : Peso unitario húmedo γ _d : Peso unitario seco q _u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo	✚ : Límite líquido ✚ : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO PERFORACION No BH - 32	HOJA: 1/1
---------	---	---	--	---------------------	---	--------------

MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	ORIGEN	NIVEL FREÁTICO (m)	Litología	DESCRIPCIÓN	CONSISTENCIA O DENSIDAD RELATIVA	TIPO DE MUESTREADOR	GRAFICO DE PERFORACIÓN				GRANULOMETRÍA				HUMEDAD Y LIMITES DE CONSISTENCIA					PROPIEDADES MECÁNICAS												
								N (SPT)	Resistencia a la penetración N°. SPT (golpes/pie)	% GRAVA	% ARENA	% PASANTE Nº 200	GRAVA ARENA FINOS	w (%)	Humedad Natural Limite Líquido Limite Plástico	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ _h t/m³	γ _d t/m³	ω (%)	G _s	Resistencia al corte (t/m²)/ Angulo de Fricción (φ)	q _u (Penetrómetro) t/m²	Tipo de Compresión	q _u (Compresión) t/m²	S _u (Compresión) t/m²	C t/m²	φ (°)				
										G	F	G	TAM. 4 10 40 200																				
1	0.55 - 1.00	ALUVIONAL			Arcilla de baja plasticidad, ligeramente orgánica marrón oscuro (CL)	MUY FIRME	M	19									16,50																
2	1.55 - 2.00						M	26													13,10												
3	2.55 - 3.00						M	21													13,80												
4	3.55 - 4.00					DURA	M	38			0	5	95							13,90													
5	4.55 - 5.00						M	27																									
6	5.55 - 6.00				Arcilla de baja plasticidad limosa marrón claro (CL)	FIRME	M	20											16,40														
7	6.55 - 7.00						M	38												16,70													
8	7.55 - 8.00					FIRME	M	26											18,00														
9	8.55 - 9.00					DURA	M	41											16,30														
10	9.55 - 10.00						M	48												17,20													
11	10.55 - 11.00			M	47												17,70																
12	11.55 - 12.00			Arena arcillosa marrón (SC)	DENSEA	M	24			4	59	37						18,00															
13	12.55 - 13.00			Arena limosa con grava marrón claro (SM)		M	29											6,70															
14	13.55 - 14.00					M	48												5,80														
15	14.55 - 15.00					M	49			37	51	12							6,90														
16	15.55 - 16.00					M	40												6,30														
17	16.55 - 17.00			MUY DENSEA	M	62												5,30															
18	17.55 - 18.00				M	69												5,70															
19	18.55 - 19.00				M	66			31	53	16							6,00															
20	19.55 - 20.00				M	68												12,70															

LEYENDA	Tipo de Muestreador M: Muestra SPT R: Rotación SH: Shelby D: Deninson NR: No Recupero Nivel Freático RES Suelo de origen residual RELL Material de relleno	Ensayos Gs : Peso específico γ_h : Peso unitario húmedo γ_d : Peso unitario seco q_u : Resistencia al corte ▲ : Penetrómetro Δ : Compresión CSC : Compresión sin confinar c : Cohesión φ : Angulo de fricción interna (°) ○ : Ensayo de Corte directo + : Límite líquido + : Límite plástico	FECHA: Mayo 2018	TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LAS ARCILLAS PRESENTES EN EL SUBSUELO DE UN SECTOR UBICADO AL SUROESTE DE LA POBLACIÓN DE EL SOMBRERO – MUNICIPIO JULIÁN MELLADO – ESTADO GUÁRICO		
						HOJA: 1/1