

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE
ARCILLA UBICADOS EN EL MUNICIPIO CRUZ SALMERÓN
ACOSTA, PENÍNSULA DE ARAYA, ESTADO SUCRE**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Barreto M. Yulimar C.
Godoy R. John S.
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2018

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA UBICADOS EN EL MUNICIPIO CRUZ SALMERÓN ACOSTA, PENÍNSULA DE ARAYA, ESTADO SUCRE

Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs. Barreto M. Yulimar C.
Godoy R. John S.
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2018

DEDICATORIA

Muy especialmente a Dios mi señor dueño de mis batallas y a San miguel Arcángel por toda la protección, sabiduría y fortaleza.

Seguidamente a mi familia por ser mi fuente de apoyo, mi norte, mi bastón de quienes admiro su fuerza y esperanza en los momentos más tristes.

A mi amada mami Shara Martínez que jamás dudo que este esfuerzo llegaría a feliz término. Ella me dio todo lo que necesite para ser lo que soy ahora, a ella le debo mi educación y nunca dejare de agradecer los sacrificios que hizo para que tuviera hoy la oportunidad de recibir mi título profesional.

A mi hermana que me ha ayudado sin condición y que me ha dado fuerzas para seguir siendo lo que soy.

A mí amado hijo que es la razón de mí ser y el motivo que me da fuerzas se seguir cada día.

A Jonathan Peraza mi esposo por todo el apoyo que me ha brindado para lograr mis metas.

A mis abuelas María y Juana que no se encuentran físicamente (†), pero me cuidan desde donde están.

Yulimar Barreto

Godoy John dedica a:

Primeramente le doy gracias a Dios por darme salud y paciencia durante mi formación como profesional.

A mis padres José Ramón Godoy y Piedad de Godoy por la crianza y enseñanza durante todas mis etapas de estudios, brindándome cada día el apoyo incondicional, permitiéndome ser mejor ciudadano ante la sociedad.

A la licenciada Lauri Soto por darme el mejor regalo de la vida: ser padre y a mis hijas Snatlyn Lisgrey y Venus Victoria Godoy por hacerme luchar cada día por ellas.

Un espacio especial para mi compañero Omar Zavaleta (machupichu) que no se encuentra físicamente entre nosotros (†).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, por darme el aliento y toda su ayuda para alcanzar esta meta.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica y al Departamento de Geología, por brindarme la oportunidad de poder graduarme de ingeniero.

A mi tutor, el profesor Ricardo Alezones, por su guía oportuna para la culminación exitosa de este trabajo de investigación. Gracias por soportarme todo estos meses.

A los profesores Feliciano De Santis por su colaboración de prestarnos su laboratorio para los ensayos Geotécnicos, Enrique Toribio por el enlace con el Ing. José Martínez por la colaboración en los ensayos DRX en INTEVEP, Enzo Caraballo por su colaboración con los ensayos de FRX, Omar Márquez por su asesoría. Al ingeniero Orlando Rivero por facilitar el tema de investigación y el apoyo brindado.

A mi compañero de tesis Sney que logramos aguantarnos para lograr esta meta.

A mi mami gracias por estar allí y creer que si podía lograr esta meta, por no juzgar el largo tiempo invertido para culminar mis estudios. TE AMO MI VIDA!!!

A mi hijo Gabriel por todo ese tiempo de ausencia para lograr esta meta TE AMO!!!

A mi tía Lisbeth por tenerme presente en sus oraciones y por cada palabra llena de mucha fe y sabiduría.

A mis grandes amigos Gabriel Domínguez (mi gabo), Milagros Duhamel (mili) y Pamela Muños (pam) y mis compañeros del INTU (Ing. Marialejandra, Nelly, Wilden, Indira y Fabiana), a esos compañeros de estudios que llegaron a marcar mi vida de alguna manera muy especial (José Medina, José Miguel Luna, Eleisimar Navas, Yonathan (gocho), Ender).

Yulimar Barreto

John Godoy

Como no mencionar a la gloriosa Universidad Central de Venezuela, la casa que vences las sombras por estos años de crecimientos como profesional.

Principalmente a todos los profesores que ayudaron a mi formación académica como profesional durante cada etapa de estudio. Tanto escolar, básica, diversificado y educación superior. Del ciclo universitario a los profesores Ricardo Alezones, Lenin González, Orlando Méndez, Adonay Álvarez, Jesús Hernández (chuchu), Carolina Machillanda, Enrique Toribio a las licenciadas Morela Mikaty por cada cafecito mañareno y María Teresa Espinoza por la atención durante su espacio laboral.

Al profesor Feliciano De Santis por prestarnos su laboratorio para los ensayos Geotécnicos, al Ing. José Martínez por la colaboración en los ensayos DRX.

A mis compañeros de estudios durante mi formación como Ing. Geólogo, José Miguel Luna (Bombero), Yonathan González (Gochopedia), Ender Nieto (El Míster), William Martínez (Mi house), Reinaldo Gil (Orto), Paola Letta, y Víctor Barrile.

En especial a mi compañera de tesis Yulimar Barreto, por el esfuerzo y dedicación durante la realización del TEG.

Personas especiales fuera de la UCV como Yeny Escalante, por hacerme ver el camino correcto de la vida, la señora Margarita Carrasquel por el apoyo incondicional de hospitalidad.

Barreto M. Yulimar C.

Godoy R. John S.

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE
ARCILLA UBICADOS EN EL MUNICIPIO CRUZ SALMERÓN
ACOSTA, PENÍNSULA DE ARAYA, ESTADO SUCRE**

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. 212

Palabras claves: Península de Araya, Cruz-Sucre (Estado), Difracción de rayos X, Fluorescencia de rayos X, Límites de Atterberg, Hidrometría, Arcillas.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es la caracterización geológica de los depósitos de arcillas ubicados en la Península de Araya, Municipio Cruz Salmerón Acosta del estado Sucre y a su vez evaluar el potencial de estas rocas como materia prima en la industria alfarera, a partir del levantamiento geológico y de los análisis químicos como difracción de rayos x (DRX), fluorescencia de rayos x (FRX) y algunos ensayos básicos de geotécnica a las muestras tomadas durante el levantamiento geológico.

El sector se caracteriza por poseer una litología principalmente sedimentaria dispuesta espacialmente en ángulo de buzamiento entre 4° y 8°, representados por cuatro unidades litoestratigráficas: Formación Manicuare (Jurásico-Cretácico), Formación Cubagua (Mioceno-Plioceno), Formación Barrigón (Pleistoceno), Formación Tortuga (Pleistoceno Tardío) y la Formación Coche (Pleistoceno Tardío), Siendo la Formación Barrigón la de mayor extensión para este estudio.

Se identificaron 24 afloramientos en los cuales se tomaron muestras y se procedió a realizar análisis de DRX obteniendo como resultado un alto porcentaje de minerales de arcillas (caolinita, illita. Illita-esmectita y esmectita) reagrupando de acuerdo a su composición, llevándolas a 12 muestras para los análisis de FRX y ensayos geotécnicos básicos. De estos ensayos se obtuvo como resultados que de las 24 muestras analizadas, sólo 3 de ellas están en el rango de los valores establecidos en estudios previos para la fabricación de ladrillos de 50%-60% de SiO_2 y 20%-30% de Al_2O_3 . A pesar que en el análisis de DRX muestra que tienen alto contenido de caolinita, mineral fundamental para la elaboración de ladrillos, los valores de consistencia revelan evidencia de posibles propiedades expansivas de las arcillas, las cuales muestran un rango de bajo a medio potencial de hinchamiento (entre 0,25 a 1,1).

Por estas razones, se recomienda realizar mezclas entre las arcillas donde este supere el 30 % en estado puro, para que tenga mayor plasticidad.

INDÍCE GENERAL

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN.....	VII
INDÍCE GENERAL.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	1
1.2.1. Límites generales de la zona de estudio.....	2
1.2.2 Límites detallados de la zona de estudio	3
CAPÍTULO II	5
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.2 OBJETIVOS	6
2.1.1 Objetivo general.....	6
2.1.2 Objetivos específicos	6
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	6
2.4 ALCANCES	7
2.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO.....	9
3.1 TRABAJOS PREVIOS	9
3.1.1 Trabajos geológicos	9

3.1.2 Trabajos metodológicos.....	10
3.3 BASES TEÓRICAS.....	12
3.3.1 ARCILLAS	12
3.3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS.....	15
3.3.2.1 Caolinita ($\text{Al}_4 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$).....	17
3.3.2.2 Illita ($\text{K}_{1-1.5}\text{Al}_4 [\text{Si}_{7-6.5}\text{Al}_{1-1.5} \text{O}_{20}] (\text{OH})_4$).....	17
3.3.2.3 Grupo de las Esmectitas ($(0,5\text{Ca},\text{Na})_{0,7}(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_4[(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_{4n}\text{H}_2\text{O}$) ..	18
3.3.2.4 Grupo de la clorita $(\text{Mg},\text{Al},\text{Fe})_{12}[(\text{Si},\text{Al})_8 \text{O}_{20}](\text{OH})_{16}$	19
3.3.3 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS ARCILLAS	19
3.3.4 APLICACIONES INDUSTRIALES DE LAS ARCILLAS	21
3.3.6 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS SEGÚN SU EMPLEO EN LA CONSTRUCCIÓN ..	22
3.3.7 LA ARCILLA COMO MATERIA PRIMA PARA LA INDUSTRIA DE LA CERÁMICA	23
3.3.7 LÍMITES DE ATTERBERG	24
3.3.7.1 Límite líquido	25
3.3.7.2 Límite Plástico	25
3.3.7.3 Índice de plasticidad	26
3.3.8 HUMEDAD NATURAL.....	27
3.3.9 PROPIEDADES DE LOS MINERALES DE ARCILLA	27
3.3.10 DIFRACCIÓN DE RAYOS X	28
3.3.10.1 MÉTODO DE ANÁLISIS DE POLVO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	30
3.3.11 FLUORESCENCIA DE RAYOS X.....	31
3.3.11.1 FUNDAMENTOS DEL MÉTODO.....	32
3.3.12 RESERVA	34
3.3.12.1 Reservas Probables	36
3.3.12.2 Reservas Probadas	36
3.4 MARCO METODOLÓGICO.....	37
3.4.1 FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	39
3.4.2 FASE II: PREPARACIÓN DE LA ETAPA DE CAMPO Y RECONOCIMIENTO.....	39
3.4.3 Fase III: Trabajo de campo	39

3.4.4 Fase IV: Etapa de laboratorio y oficina	40
A.- En la oficina.....	40
B.-En Laboratorio	40
B.1.- Ensayos de caracterización de suelos	40
B.2.-Índice de Plasticidad (IP):.....	45
B.4.-Difracción de Rayos X.....	51
B.5 Fluorescencia de rayos X.....	56
B.6-Estimación de Reservas	57
3.4.5 FASE V: REDACCIÓN DEL INFORME FINAL Y ELABORACIÓN DE MAPAS	58
CAPÍTULO IV.....	59
MARCO GEOLÓGICO.....	59
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL	59
4.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL	59
4.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES REGIONALES PRINCIPALES.	63
4.3.1 Fallas presentes en la región de Araya.....	64
4.3.2 Dominios geológicos estratigráficos regionales de la península de Araya. 65	
4.4. MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.	66
4.4.1. Terrenos metamórficos	66
4.4.2. TERRENOS SEDIMENTARIOS	72
4.4.2.1. Subdominio o terreno sedimentario. Zona norte-central	73
4.4.2.2. Subdominio o terreno sedimentario. Zona oriental	73
4.4.3. UNIDADES SEDIMENTARIAS.....	74
4.4.3.1. Unidades sedimentarias formales	74
4.4.3.2 Unidades sedimentarias cuaternarias informales.....	86
CAPÍTULO V	87
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	87
5.1 GEOLOGÍA LOCAL.....	87
5.2.1 DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)	109

5.2.1.1 Roca total	110
5.2.1.2 Análisis de la fracción de arcilla (menor a 2 micras)	113
5.2.1.3 Fluorescencia	115
5.3 ENSAYOS GEOTÉCNICOS	118
MUESTRAS PA-2 Y PA-17.....	120
MUESTRAS PA-4, PA-13, PA-18, PA-19, PA-20, PA-22.....	120
MUESTRA PA-11	120
MUESTRA PA-5	121
MUESTRAS PA-9 Y PA-15.....	121
ESTIMACIÓN DE MINERALES PRESENTE.....	135
CAPITULO VI.....	141
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
CONCLUSIONES	141
RECOMENDACIONES	143
CAPÍTULO VII	144
BIBLIOGRAFÍA	144
APÉNDICE 1	152
1.1 GEOGRAFÍA FÍSICA	152
APÉNDICE 2	162
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DRX DE ROCA TOTAL.....	162
APÉNDICE 3.....	185
ESTUDIOS GEOTÉCNICOS.....	185
GRÁFICAS DE HIDROMETRÍA.....	185
CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	197

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio	2
Figura 2: Vías de acceso a la Península de Araya.....	4
Figura 3. Diagrama esquemático del tetraedro de sílice	13
Figura 4. Diagrama esquemático de la unidad octaédrica.....	14
Figura 5. Desarrollo esquemático de las estructuras de algunos filosilicatos.	16
Figura 6. Límites de Atterberg.	24
Figura 7. Trayectoria humedad-volumen de un suelo amasado.....	25
Figura 8. El espectro electromagnético.....	28
Figura 9. Esquema del sistema óptico de un difractor de rayos x.....	29
Figura 10. Reflexión de rayos X entre dos planos de átomos en un sólido.	30
Figura 11. Esquema de un difractor de rayos X.....	31
Figura 12. Esquema de un espectrómetro de fluorescencia de rayos X.....	33
Figura 13. Recurso y reserva mineral.	35
Figura 14. Flujograma metodología de trabajo utilizada.	38
Figura 15 Carta de plasticidad de Casagrande.	41
Figura 16 Cuchara de Casagrande.....	44
Figura 17. Plancha de secado de muestra.....	55
Figura 18. Equipo de Fluorescencia de Rayos X.	56
Figura 19. Portamuestras para FRX.....	57
Figura 20. Cuerpo geológico.....	58
Figura 21 Evolución geodinámica de la placa del Caribe.....	60
Figura 22 Bloque Margarita.....	61
Figura 23. Evolución geodinámica del Norte de Venezuela – Trinidad.....	62
Figura 24. Mapa geológico de la península de Araya, donde se muestran en líneas rojas las fallas principales que afectan ésta zona de la península.	65
Figura 25 Muestra tomada en campo, Lutita gris claro.	88
Figura 26. Sección estratigráfica del punto muestreado PA-9-.....	90
Figura 27. Contacto discordante de la Fm. Tortuga y Miembro Cerro Verde de la Fm. Cubagua. PA-9 PA-10. Playa la Paria.....	91

Figura 28. Ubicación de los cerros en estudio	92
Figura 29. Diferencia del nivel de la Formación Cubagua, Miembro Cerro Verde....	92
Figura 30. Sección estratigráfica del punto muestreado PA-18.....	95
Figura 31. Vista panorámica de Cerro Pariche	96
Figura 32. Detalle de las ostras (coquina)	96
Figura 33 Afloramiento observado vía Manicuare a Araya. Muestra PA-4	97
Figura 34. Sección estratigráfica del punto de muestra PA-4.....	98
Figura 35 Contacto entre la Formación Barrigón y Formación Manicuare	99
Figura 36. Sección estratigráfica del punto de muestra PA- 6.....	100
Figura 37. Formación Barrigón Parte trasera del cerro frente a la salina madre.	101
Figura 38. Sección estratigráfica del punto muestreado PA-15.....	102
Figura 39. Muestra del afloramiento PA-16. Vía el Rincón.	103
Figura 40. Material ubicado en la bloquera muestra PA-17	104
Figura 41. Columna estratigráfica del corte de carretera Manicuare.	105
Figura 42. Diagrama esquemático de la aparición de la Formación Coche y la Formación Tortuga.....	107
Figura 43 Vista panorámica de los alrededores de la laguna madre.	107
Figura 44 Secuencias (a, b) correspondientes a la Formación Tortuga en paraconformidad con el Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua.....	107
Figura 45. Gráfica de fluorescencia de rayos X.....	116
Figura 46. Grafica de resultados de los límites de atterberg.	119
Figura 47. Gráfico de determinación indirecta del ángulo de fricción	122
Figura 48. Grafica de clasificación de Casagrande.....	123
Figura 49. Gráfico de actividad de las arcillas.	125
Figura 50. Gráfico de actividad de las arcillas.	126
Figura 51. Gráfico de actividad de las arcillas.	127
Figura 52. Expansividad en suelos arcillosos	128
Figura 53. Límites de consistencia y porcentaje de cada mineral.....	130
Figura 54. Gráfica del porcentaje límite líquido VS caolinita.	131
Figura 55. Gráfica del porcentaje límite líquido vs illita.	132

Figura 56. Gráfica del porcentaje límite líquido vs illita esmectita.	133
Figura 57. Gráfica del porcentaje límite líquido VS caolinita.	134
Figura 58. Mapa de los diferentes tipos de ambientes ecológicos vegetación.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las arcillas.....	15
Tabla 2. Rango composicional admitido para cerámica estructural.	23
Tabla 3. Composición química de arcillas comunes utilizadas para cerámicas.....	24
Tabla 4 Sistema unificado de Clasificación de suelos de grano fino..	26
Tabla 5. Valores típico de Actividad de los principales minerales arcillosos.....	51
Tabla 6. Metodología a seguir para la eliminación de oxido	53
Tabla 7 Características de la Formación Manicuaire según diferentes autores	68
Tabla 8. Características de la Formación Carúpano según diferentes autores	71
Tabla 9. Unidades sedimentarias formales de la península de Araya.	75
Tabla 10. Características generales de la Formación Cubagua.....	78
Tabla 11. Características generales de la Formación Barrigón.....	81
Tabla 12. Características generales de la Formación Coche.....	83
Tabla 13. Características generales de la Formación Castillo de Araya	85
Tabla 14 Unidades sedimentarias cuaternarias sin nombre formal.....	86
Tabla 15. Ubicación y ensayos a realizaados en laboratorios	109
Tabla 16. Resultados de roca toral en la DRX	111
Tabla 17. Resultado de la fracción menor a 2 micras en la DRX	114
Tabla 18 Elementos detectados por fluorescencia de rayos x.....	116
Tabla 19. Resultados de ensayos geotécnicos.....	118
Tabla 20 Cantidad de minerales de arcillas de acuerdo al % pasa 200.....	135
Tabla 21. Estimación de cantidad de mineral presente	138
Tabla 22 Tabla resumen y de zonificación de las muestras	139

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La Península de Araya es una prolongación de la sección central de la Cordillera de la Costa, la cual está ubicada al norte de las depresiones tectónicas de Valencia, Tuy medio y Barlovento, con una dirección este-oeste alcanzando una longitud de 270 km entre Punta Araya y el promontorio de Paria; su ancho no rebasa los 20 km. El Municipio Cruz Salmerón Acosta es una de los quince municipios que conforman el estado Sucre y se encuentra ubicado al noroeste del estado.

Los ambientes de formación de las arcillas incluyen sedimentos marinos y continentales, campos geotermales, depósitos volcánicos y meteorización de rocas. Todos estos ambientes pueden causar la formación de arcillas a partir de minerales preexistentes. El 60% de la construcción a nivel mundial está representada por suelos arcillosos, arenosos o de caliza que han sido procesadas de distintas maneras para diversos usos Zea, (2005).

El presente trabajo muestra los resultados del estudio geológico de superficie y la determinación de las propiedades mecánicas, físicas y composición mineralógica, de los depósitos de arcilla ubicadas en la zona del Municipio Cruz Salmerón Acosta, en la Península de Araya, estado Sucre; siguiendo la metodología que incluye esto se alcanzará utilizando las técnicas de reconocimiento de campo, ensayos de humedad relativa y plasticidad del material, análisis de difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X. El trabajo pretende estimar la calidad del material estudiado con miras a conocer la utilidad del mismo.

1.2. Ubicación geográfica de la zona de estudio

La zona de estudio del presente trabajo de grado se encuentra ubicada al nor-orientado de Venezuela, en la península de Araya, estado Sucre, entre las poblaciones

de Araya (Distrito Cruz Salmerón Acosta) al O. La Península de Araya está localizada en el oriente de Venezuela entre los $10^{\circ} 25'$ y $10^{\circ} 45'$ norte y los $63^{\circ} 17'$ y $64^{\circ} 24'$ oeste; se encuentra prácticamente protegida por la barrera que conforman las islas de Coche, Margarita y Cubagua con El Morro de Chacopata.

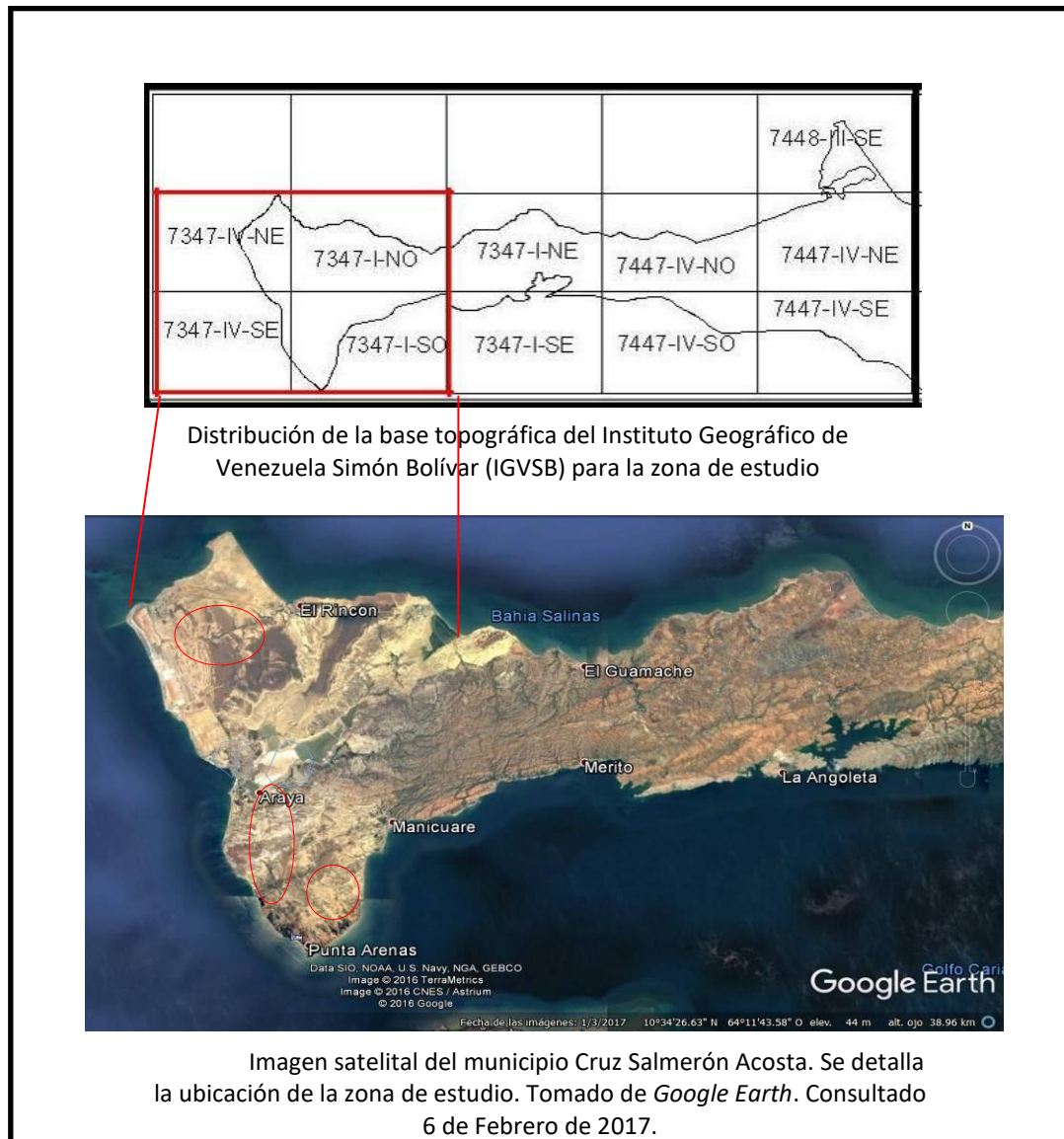


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

1.2.1. Límites generales de la zona de estudio

La investigación se limitará a resolver el problema de la caracterización geológica de los materiales que constituyen una zona ubicada en el Municipio Cruz

Salmerón Acosta, este municipio se ubica en el noroeste del estado, teniendo como capital la ciudad de Araya cuyos límites son la línea de costa de la Península con el Mar Caribe y al este con el municipio Ribero. El borde N de la zona de estudio se encuentra geográficamente definido por la línea de costa de la península de Araya, que limita con el Mar Caribe, la cual recorre desde Punta Araya, al O, hasta El Rincón al E, a su vez, el borde S de la región de estudio está representado geográficamente por la línea de costa que limita hasta Manicuare.

1.2.2 Límites detallados de la zona de estudio

Los límites en sentido E-O abarcan desde la longitud $63^{\circ}17'00''W$, en El Rincón (Hoja7347-I-NO), hasta los $64^{\circ}22'30''W$ en Punta Araya (Hoja 7347-IV-NE). Los límites en sentido N-S abarcan desde la latitud de $10^{\circ}25'00''N$ al S, (Hoja 7347-IV-SE) Araya hasta la (Hoja 7347-I-SO) Manicuare), hasta los $10^{\circ}44'00''N$.

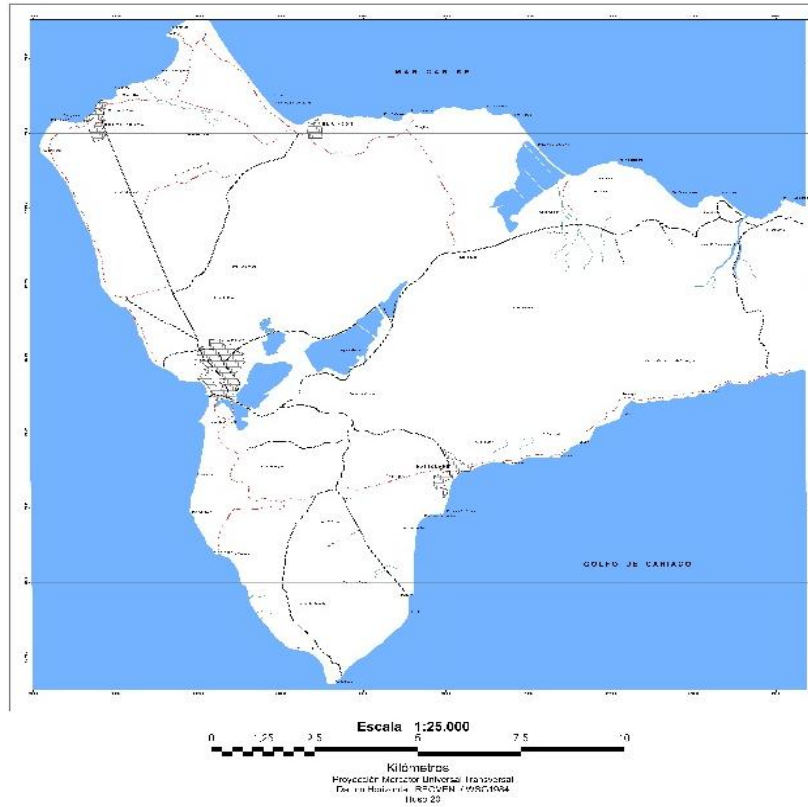
Cabe destacar que la línea costera al S de la zona de estudio, en el golfo de Cariaco, comprende desde Punta Barrigón hasta Punta Arenas (Hoja 7347-I-SO Manicuare). En cuanto a las vías de acceso, las vías principales se encuentran asfaltadas al N de la península de Araya, y carreteras al S de esta. De O a E, las vías conectan a Araya con otros poblados como Punta Araya, el Rincón, Taguapire, Caimancito, y Saucedo. Al S de la península se encuentra una carretera que bordea la costa del golfo de Cariaco desde Manicuare hacia Merito, Tacarigua, al S, hasta El Guamache, al N, como se muestra en el mapa de vialidad en la figura 2.



Universidad Central de Venezuela
 Facultad de Ingeniería
 Escuela de Geología, Minas y Geofísica
 Autores: Barreto M. Yulimar C.
 Godoy R. John S.



Mapa de Representación de Vías



Ubicación del Área de Estudio



LEYENDA

SIGNOS CONVENCIONALES

- | | |
|-------------|-------------------------|
| VÍAS | — Carretera Pavimentada |
| Autopista | — Calle |
| Carretera | — Puente |
| | — Poblados |
| | Hidrografía |
| | — Quebradas |
| | ■ Lagunas |

TUTOR ACADÉMICO : RICARDO ALEZONES

Figura 2: Vías de acceso a la Península de Araya

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento del problema

En la mayoría de los países de Latinoamérica incluyendo Venezuela, la búsqueda de material para la construcción se inicia con la llegada de los colonizadores al país. En un principio se fabricaban piezas de adobe, o en algunos casos se construía apilando grandes rocas para edificar; hoy en día con el uso de otros materiales y la crisis que sufre el país en cuanto a materiales de construcción obliga a enfatizar el uso de bloques elaborados con arcilla, para así mantener el desarrollo económico y socio productivo del país.

Sumando a esto, el crecimiento acelerado y sobrepoblación que presenta el Municipio Cruz Salmerón Acosta, en la Península de Araya, estado Sucre, han agravado la construcción de algunas obras de infraestructura así como la realización de soluciones habitacionales. En virtud a lo antes descrito esta investigación tiene la finalidad de llevar a cabo una evaluación geológica, mineralógica y estimación de reservas inferidas de los depósitos de arcilla en dicho municipio.

Existen diversos motivos para su investigación, desde el conocimiento científico de saber que hay en la zona desde el punto de vista geocientífico, pasando por el geotécnico donde el impacto de la naturaleza de los suelos de arcillas puede afectar la construcción de desarrollos habitacionales y otras obras civiles por lo que se debe conocer si son de tipo expansivas, caracterizando para saber si este material es apto para la fabricación de bloques de ladrillos para la construcción, tomando en cuenta que la Península de Araya experimenta un crecimiento poblacional importante.

2.2 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Evaluar mineralógicamente las arcillas presentes en el área a prospectar, por medio de análisis de difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X, en el Municipio Cruz Salmerón Acosta, Península de Araya, estado Sucre.

2.1.2 Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento geológico de la zona con énfasis en la ubicación de cuerpos de arcillas, y toma de muestras.
- Realizar la cartografía geológica de la zona donde se ubican los posibles depósitos de arcilla y cortes geológicos que muestren en el subsuelo como se hallan dispuesto los cuerpos de arcilla.
- Determinar la composición mineralógica de las arcillas con DRX y química con FRX
- Estimar las reservas de arcilla presentes en la zona de trabajo con la información obtenida de los análisis de hidrometría y DRX.
- Evaluar la calidad de las arcillas con respecto al uso industrial del material presente por medio de ensayos de humedad relativa y plasticidad del material.

2.3 Justificación

Este proyecto nace de la necesidad de realizar un estudio geológico que permita evaluar el potencial de la zona con respecto a la calidad y reserva de las arcillas presente, como materia prima para su explotación y uso con el fin de crear una bloquera artesanal en Punta Arenas para abastecer el desarrollo habitacional y la construcción de infraestructuras.

Por estas razones, sumado a la crisis de materiales de construcción, y a la ausencia de información técnica importante en esta zona, justifica la importancia de este estudio.

2.4 Alcances

Esta investigación permitirá cartografiar la ubicación certera de cuerpos de arcilla en el Municipio Cruz Salmerón Acosta así como, también el uso que se le puede dar a este material, mediante la construcción de un mapa geológico, en el cual, se ubican los posibles depósitos; cortes geológicos que muestren la distribución en profundidad de los cuerpos de arcillas en el subsuelo.

Por otro lado, el estudio proporcionará la información geoquímica-mineralógica detallada, evaluación geotécnica y una estimación de recursos inferidos de las arcillas. Dichos análisis o estudios se realizará en conjunto a los laboratorios de PDVSA-INTEVEP, laboratorio de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica y el Laboratorio de la empresa “Ingenieros De Santis”. Estos análisis arrojarán las características del material como: su naturaleza plástica, mineralógica y otros detalles, por medio de distintos ensayos como Difracción de Rayos X (DRX), Fluorescencia de rayos X (FRX). Posteriormente, se elaboraron tablas donde se muestran las características del tipo de arcillas que se encuentran presentes, así como los resultados de los diferentes ensayos aplicados a las muestras (límites de Atterberg, Hidrometría) todo esto con el fin de evaluar la calidad de estos materiales mediante los parámetros físicos y mecánicos.

2.5 Limitaciones de la investigación

Durante el desarrollo del Trabajo se presentaron algunas limitaciones que provocaron alteraciones en el cronograma inicial; a continuación se mencionan estas limitaciones:

1. Las fotografías aéreas no estaban disponibles por lo que tuvo que realizar la interpretación en el ortofotomapa a escala 1:25000 impidiendo esto último un análisis de mayor detalle.
2. La realización de los ensayos de DRX e hidrometría no se pudieron ejecutar a la fecha pautada por la disponibilidad del laboratorio.

3. El tiempo de elaboración de los ladrillos se demora porque éstos al calentarse se fracturaban, lo que llevó a realizar mezclas entre las arcillas y las arenas; esto es una limitante porque estas mezclas no cumple los parámetros establecidos ni es objeto de estudio para este trabajo de investigación.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

3.1 Trabajos previos

3.1.1 Trabajos geológicos

Alejandro de Humboldt durante su viaje en 1799 es el primero en presentar información litológica y paleontológica de las rocas sedimentarias y esquistos de la Península de Araya (Humboldt 1799).

Vignali (1964). En su trabajo titulado “Estudio geológico de las rocas sedimentarias de Araya” define a la Formación Cubagua con dos miembros Cerro Verde y Cerro Negro. Cerro Verde está constituido por lutitas en la base, que se van haciendo arenosas al tope; y Cerro Negro es más margoso, comenzando por margas basales, posteriormente areniscas limosas, seguidas de margas hasta llegar al tope del miembro con una caliza margosa.

Macsoy (1965). Plantea la Carta faunal de microfósiles correspondientes a las formaciones cenozoicas de la península de Araya.

Schubert (1969). Identifica un basamento metamórfico de edad Triásico?-Jurásico y Cretácico Inferior a Medio, sobre el cual se deposita el Neógeno-Cuaternario del oriente de Venezuela.

Padrón (1992). Realizan un estudio para la determinación de secuencias marinas neógenas-cuaternarias al noreste de Venezuela, que van a estar representadas en la península de Araya por las formaciones Cubagua, Coche y Tortuga.

Padrón y Estévez (1997). Realizan un estudio sobre la secuencia sedimentaria conglomerática perteneciente a la Formación Coche, determinando por relaciones laterales con la Formación Tortuga y por la presencia de la *Globorotalia ungulata*, una edad para la Formación Coche que se restringe al Holoceno.

Pérez (2004). El principal objetivo del estudio fue determinar las condiciones paleoecológicas que controlaron la sedimentación de la Formación Cubagua en la Península de Araya, a partir del estudio de morfogrupos de foraminíferos bénticos. Este estudio se realizó a las muestras tomadas en la Formación Cubagua partir del estudio de los Cerros Barrigón y La Cantera, donde afloran los miembros Cerro Verde y Cerro Negro.

Alvarado (2005) realizó una integración geológica de la península de Araya, estado Sucre en sentido oeste-este desde la población de Araya hasta Carúpano y en sentido norte-sur desde la costa norte límite con el Mar Caribe hasta la costa sur límite con el Golfo de Cariaco.

Malavé y Salazar (2011) El objetivo principal del estudio fue realizar un inventario de Lugares de Interés Geológico para el diseño de un geoparque en el municipio Cruz Salmerón Acosta, estado Sucre, ya que existe una variedad de ambientes que explican fenómenos y procesos geológicos que generaron el paisaje actual, se evidencian rocas metamórficas y sedimentarias; realizaron propuestas para la elaboración de miradores, paneles y rutas dentro de estas áreas de protección para el desarrollo del Geoturismo en la zona.

Mujica (2017). Estudia la geología del área Araya-Saucedo, mediante la compilación de información bibliográfica de la geología de la región; la finalidad de esto es poder obtener una síntesis descriptiva de las unidades ígneo-metamórficas paleozoicas-mesozoicas que afloran, como contribución al futuro Léxico Estratigráfico de Venezuela.

3.1.2 Trabajos metodológicos

Alarcón (1990). Realizó un reconocimiento geológico y prospección de arcillas de uso industrial en la región de Quibor-Sanare estado Lara, mediante el estudio de la geología de superficie, identificación de los tipos de arcilla, origen composición y

concentración, con la finalidad de estimar las reservas para cada tipo de arcilla en base a la cartografía isolítica.

Arias (2004). Realizó un estudio de minerales de arcilla presentes en muestras de sedimentos superficiales y núcleos de la fachada atlántica venezolana.

Castro y Rivero (2010). Realizaron una caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la hacienda el Marqués municipio Zamora, Guatire, estado Miranda. Para evaluar la calidad de los sedimentos detríticos estudiados como materia prima en la industria alfarera se utilizaron ensayos de Difracción de Rayos X, análisis químicos, análisis granulométricos, peso unitario, contenido de humedad natural y plasticidad.

Zea (2005). Ejecutó una caracterización de las arcillas para la elaboración de ladrillos en la fábrica artesanal de la región del Tejar- Chimaltenango Guatemala. Mediante la descripción de ensayos que determinan las propiedades mecánicas y características físicas, para así clasificarla para la producción.

Hernández (2006). Realizó un estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, estado Aragua. Mediante el estudio mineralógico del componente argiláceo pudo identificar y ubicar de forma precisa los tipos de arcillas y su mineralogía.

Fernández y Martins (2012). Realizaron una caracterización geológica y geoquímica de la Formación San Luis, a partir de un levantamiento geológico de campo en una sección ubicada en la zona norcentral del estado Falcón específicamente al sur de Caujarao y La Tabla. Determinaron las concentraciones los elementos mayoritarios a través de la técnica de Absorción Atómica y técnica de Fluorescencia de Rayos X.

Navas (2017). Realizó la caracterización geológica de la mina “La Providencia” ubicada en el Caserío Bella Vista de Cuara, municipio Jiménez del estado Lara, para conocer el uso industrial del material, realizando distintos análisis de caracterización química, mineralógica de Absorción Atómica (AA), Difracción de Rayos X (DRX) y algunos ensayos geotécnicos a diversas muestras tomadas durante los levantamientos geológicos.

3.3 Bases teóricas

3.3.1 Arcillas

Los minerales de arcillas son básicamente silicatos hidratados de aluminio, con una estructura cristalina parecida a las micas. Se forman por meteorización o alteración hidrotermal de silicatos ricos en aluminio. El principal factor de esta alteración físico química es el agua, generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas. Estas propiedades dan a las arcillas su utilidad, puesto que se les puede moldear en casi todas las formas, las cuales conservan después de ser sometidas a la acción del fuego. Las arcillas transportadas y depositadas forman estratos tabulares o lentes y sus impurezas por lo general son el cuarzo o limos (modificado de Zea, 2005).

Los filosilicatos y dentro de este grupo, las arcillas, son los minerales más abundantes en el ambiente sedimentario considerándose en general, estables en los diferentes ambientes de formación, sea cual fuere su origen y, por consiguiente, estableciéndose relación directa entre tipo, composición química y cristalinidad frente a las condiciones genéticas (Arias, 2004).

Hernández (2006), establece que en algunas arcillas los elementos alcalinos se presentan como constituyentes; en otras el magnesio, el hierro o ambos elementos sustituyen total o parcialmente al aluminio. La mayoría de las arcillas se han formado por la desintegración de rocas con un alto contenido de aluminio, a pesar de que

algunas son producto del metamorfismo. Estas últimas aparecen sólo en pequeñas cantidades.

Existe una considerable variación en las propiedades químicas y físicas de este grupo mineral, pero la característica que tienen en común es la morfología planar y su perfecto clivaje (001), a consecuencia de su estructura atómica laminar (Moore & Reynolds, 1989).

La estructura cristalina de las arcillas está constituida básicamente de láminas de dos tipos (Grande, 2000):

- Una constituida por tetraedros de átomos de sílice y oxígeno (SiO_4), con tres átomos de oxígeno de cada tetraedro compartiendo con los tetraedros adyacentes, formando una estructura o retículo de forma hexagonal.

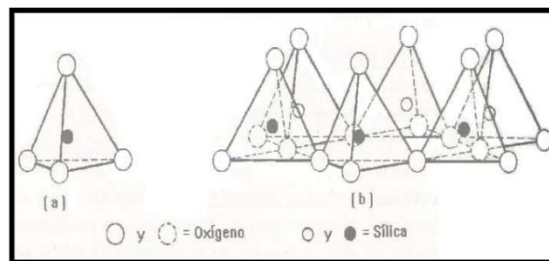


Figura 3. Diagrama esquemático del tetraedro de sílice (a) y el arreglo hexagonal de tetraedros de sílice (b). Tomado de Grande (2000)

- Una lámina constituida por iones de Al^{3+} e iones de O^{2-} y OH^- en coordinación octaédrica.

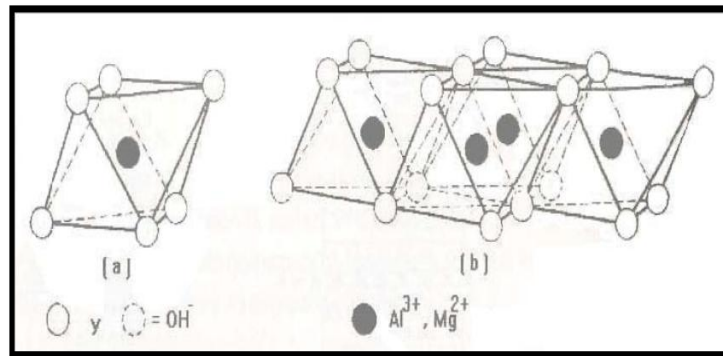


Figura 4. Diagrama esquemático de la unidad octaédrica (a) y la estructura laminar de coordinación octaédrica (b). Tomado de Grande (2000)

Grande (2000) indica que los filosilicatos del grupo de las micas y las cloritas cristalizan a temperaturas más bajas que aquellas a las que cristalizan los anfíboles. Comparados con los anfíboles, éstos tienen mayores grado de polimerización (relación $p/q = 0,40$) y de hidratación (relación O/OH aun mayor), ya que el líquido residual magmático se halla muy enriquecido en SiO_2 y H_2O . La estructura básica es la hoja (Z_4O_{10}), donde Z puede ser Si_{4+} Al_{3+} . Aquí todos los tetraedros comparten tres vértices y tienen sus bases más o menos coplanares, con sus cantos dispuestos en un patrón hexagonal o ditrigonal.

El empaquetamiento hexagonal con déficit de iones O_{2-} con Si_{4+} y Al_{3+} ocupando una parte de los intersticios tetraédricos. Los oxígenos apicales no-compartidos forman una capa superior con un patrón también hexagonal o ditrigonal. Los miembros de esta clase de silicatos tienen siempre hábito hojoso o escamoso y un clivaje perfecto en una dirección, siendo generalmente blandos y presentando laminillas de clivaje flexibles o elásticas. Todas sus propiedades físicas son consecuencia de la presencia de la hoja [Z_4O_{10}], de extensión ilimitada.

Los minerales de arcilla son susceptibles a diferentes factores que pueden controlar sus propiedades químicas, físicas y geomecánicas. Dependiendo del grado de influencia de estos factores, las propiedades y en general, el comportamiento de la

arcilla, puede variar entre localidades lo que obliga a un estudio detallado de cada suelo y de los minerales que lo conforman.

3.3.2 Clasificación de las arcillas

Según Castro & Rivero (2010), la nomenclatura para la clasificación de los minerales de arcilla ha sido un tema ampliamente discutido, se da un esquema de clasificación en donde los filosilicatos son divididos en grupos, conteniendo subgrupos dioctaédricos y trioctaédricos; y cada subgrupo a su vez se divide en especies minerales.

Tabla 1. Clasificación de las arcillas. Tomado de Grande (2000)

Tipo de capa	Grupo	Subgrupo	Especie Mineral
1:1	Caolinita-serpentina	Caolinita	Caolinita, dickita, halloysita
		Serpentina	Crisotilo, lizardita, amesita
2.1	Pirofilita-talco	Pirofilita	Pirofilita
		Talco	Talco
	Esmectita	Esmectita dioctaédrica	Montmorillonita, beidelita
		Esmectita trioctaédrica	Saponita, hectorita, Sauconita
	Vermiculita	Vermiculita dioctaédrica	Vermiculita dioctaédrica
		Vermiculita trioctaédrica	Vermiculita trioctaédrica
	Mica *	Mica dioctaédrica	Muscovita, paragonita
		Mica trioctaédrica	Flogopita, biotita, lepidolita
	Mica frágil	Mica frágil dioctaédrica	Margarita
		Mica frágil trioctaédrica	Clintonita, anandita
	Clorita	Clorita dioctaédrica	Donbasita
		Clorita ditrioctaédrica	Cokeita, sudoita
		Clorita trioctaédrica	Clinocloro, chamosita, nimmita

*El estatus de la illita (o hidrómica), sericita, etc. debe ser dejado abierto hasta el presente, debido a que aún no está claro en qué nivel de la tabla deba ser clasificada.

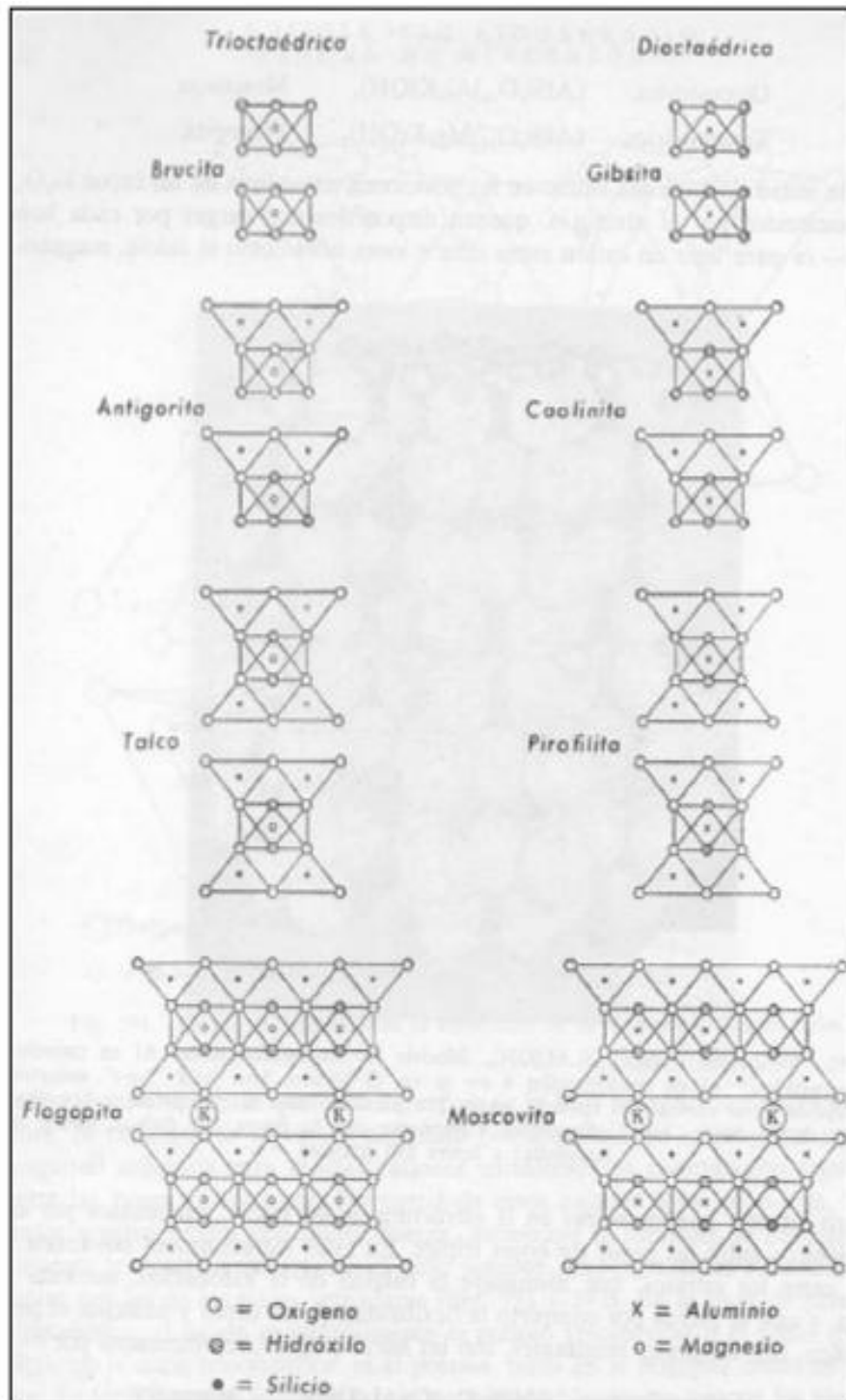


Figura 5. Desarrollo esquemático de las estructuras de algunos filosilicatos. Tomado de Arias (2004)

La composición de las arcillas puede ser muy variable y pueden clasificarse según los diversos tipos utilizados en la industria. La arcilla tiene muchos otros usos además de la cerámica, a continuación se describen un poco los minerales de arcilla que son más utilizados en la industria alfarera principalmente en la construcción y fabricación. Según Castro & Rivero (2010):

3.3.2.1 Caolinita ($\text{Al}_4 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$)

La caolinita es el principal constituyente del caolín o de la arcilla. Cornelis & Cornelius (1997), establecen que es un mineral de origen supergénico, que se produce por la alteración hidrotérmica de los minerales de aluminio, particularmente feldspatos u otros silicatos al elevarse hacia la superficie por la meteorización ordinaria de las rocas, principalmente ígneas ácidas.

Probablemente la más común del grupo de minerales de arcillas frecuentemente acompañada por cuarzo, óxido de hierro, pirita, siderita, moscovita y otros minerales de arcillas, es la arcilla de mayor pureza y posee muchas aplicaciones fabricación de vajillas, refractarios y lozas, la industria del papel y del caucho (Deer *et al.*, 1971).

Zea (2005), menciona que en la descomposición geológica por agentes atmosféricos, la caolinita se forma por la descomposición en medio oxidante y en condiciones ácidas y en medio reductoras cuando se eliminan las bases (Mg, alcalisis, FeO). La eliminación de las bases es el factor esencial para la formación del caolín.

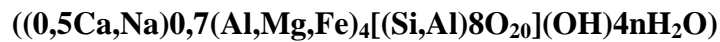
3.3.2.2 Illita ($\text{K}_{1-1.5}\text{Al}_4 [\text{Si}_{7-6.5}\text{Al}_{1-1.5} \text{O}_{20}] (\text{OH})_4$)

Cornelis & Cornelius (1997), se refiere al termino illita a los minerales micáceos de la arcilla. Posee menos silicio sustituido por aluminio, contienen más agua que la caolinita y tienen parte del potasio sustituido por calcio y magnesio. La illita es el mineral de arcilla predominante en esquistos y lodolitas, también suele ocurrir en otras rocas como lutitas y en sedimentos.

Los minerales de este grupo, tienen propiedades semejantes a las de la mica moscovita, poco es lo que puede decirse sobre las condiciones en que se produce la illita, probablemente procede de la montmorillonita por fijación de potasa adsorbida. Sus características más resaltantes son: medianamente inestables, medianamente inexpandibles, mediana plasticidad, ángulo de fricción interna (Castro & Rivero, 2010).

La illita puede tener un origen hidrotermal, son frecuentemente encontradas en zonas de alteración alrededor de puntos calientes o vetas metalíferas. Experimentos de laboratorio indican que la ocurrencia de illita es favorecida por condiciones alcalinas y por altas concentraciones de K y Al (Deer et al., 1970).

3.3.2.3 Grupo de las Esmectitas



Por mucho tiempo considerada el más interesante de los minerales de arcilla, y ahora curiosamente es el centro de investigación en atención a la transición esmectita a illita (Arias, 2004).

Para Cornelis & Cornelius (1998), estos minerales se han formado por descomposición superficial de rocas por los agentes atmosféricos, procesos hidrotermales a baja temperatura, alteración de cenizas volcánicas en capas estratificadas, por la acción de aguas circulantes de origen desconocido a lo largo de fracturas y vetas.

La definen como un grupo de minerales, dioctaédricos y trioctaédricos, todos ellos con la propiedad de expandir o contraer su estructura manteniendo sus propiedades cristalográficas intactas. La expansión tiene lugar con moléculas de agua o algún compuesto orgánico.

Castro & Rivero (2010), establecen que estas arcillas son muy inestables, medianamente inexpansibles, alta plasticidad, ángulo de fricción muy baja, sometidas a fuertes agrietamientos cuando se encuentra en proceso de desecación.

3.3.2.4 Grupo de la clorita (Mg,Al,Fe)₁₂[(Si,Al)₈ O₂₀](OH)₁₆

Los minerales del grupo de la clorita son constituyentes comunes de sedimentos arcillosos, en cuales ocurre como mineral detrítico y antigénico. Muchas veces se presenta interstratificada con otros minerales como la vermiculita (Deer *et al.*, 1970).

La clorita puede formarse como subproducto de la transformación de esmectita en illita (Arias, 2004).

3.3.3 Propiedades Físico-Químicas de las arcillas

Castro & Rivero (2010) mencionan que las aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.
- Superficie específica: se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g . Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

- Capacidad de Intercambio catiónico: se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH.
- Capacidad de absorción: Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).
- Hidratación e hinchamiento: la hidratación y deshidratación, ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina. La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión.
- Tixotropía: se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.
- Plasticidad: Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envoltura sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

3.3.4 Aplicaciones industriales de las arcillas

El principal uso de las arcillas se da en el campo de la construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas, alfarería tradicional, azulejos, etc.). Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Cornelis & Cornelius (1998), menciona que prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. La mayor parte de las aplicaciones no requieren especificaciones estrictas en cuanto a composición química. Hoy en día las arcillas comerciales, que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción.

Zea (2005), establece que un 90% de la producción, se destina a la fabricación de materiales para la construcción y agregados. Se les denomina arcillas para la construcción, arcillas cerámicas o arcillas comunes, están compuestas por dos o más minerales, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo) y otro 10% se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.). Se les denomina arcillas especiales. Las arcillas son los minerales más abundantes y ocupan casi la mitad del volumen de la corteza terrestre.

Por lo general los ladrillos están compuestos, principalmente de arcilla pura que es el aglutinante del conjunto del material. La arcilla pura está compuesta a su vez de un 47% de sílice, 39% de alúmina y un 14% de agua. La arcilla pura debe representar como mínimo un 25% del total del material componente de la mezcla.

Dependiendo de la clase de arcilla que se utilice en la fabricación de ladrillos se obtendrán distintas características como son: capacidad de absorción, sales solubles, conductibilidad calorífica y su calor específico. Zea (2005), establece que el

porcentaje de arcilla sea mayor a un 30% ya que con menor porcentaje de arcilla pura es poco plástica y dificulta su moldeado.

Se puede afirmar de modo categórico que las arcillas que no contengan cal ni yeso, son perfectamente utilizables para la fabricación de ladrillos, tanto si estas arcillas son magras (poco plásticas por su composición arenosa), como grasas (gran plasticidad).

Una arcilla que tenga mucha grasa en sus materiales, puede elevar el costo del ladrillo, ya que cuando es más plástica más desperdicios se producen debido a las contracciones que sufre en el secado. El porcentaje de impurezas en una arcilla contribuye a cambiar su plasticidad según su composición.

3.3.6 Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción

Zea (2005) expresa que los minerales arcillosos que tienen importancia en la fabricación de materiales para la construcción son tres: la caolinita, esmectita y la illita, todos ellos de estructura hojosa; no se encuentran puros, sino mezclados, aunque predomine un material determinado.

- Las arcillas caoliniticas tienen gran porcentaje de alúmina y elevado punto de fusión con propiedades refractarias notables después de la cocción, por lo que se emplean para la fabricación de loza.
- Las illiticas son las más utilizadas por ser las más comunes e abundantes y empleadas en la fabricación de ladrillos. Según el proceso de cocción y el tipo de componentes, los materiales de arcillas se clasifican en: ladrillos, refractarios, gres, porcelanas y azulejos. Cada uno de estos tipos tienen características especiales y son, objeto de aplicaciones diversas en la construcción, pudiéndose emplear como elementos resistentes de separación, decoración y múltiples usos.

3.3.7 La arcilla como materia prima para la industria de la cerámica

Para la elaboración de cerámicas se emplean materiales arcillosos como materia prima que presenta variabilidad en cuanto a su composición química y mineralógica, que en ocasiones se le añaden cantidades de fundentes (feldespatos) y desengrasantes (cuarzo, calcita, dolomita) de acuerdo para el uso industrial destinado (Galán & Aparicio).

4.2.2 Cerámica tradicional

Según Galán & Aparicio (1998) la cerámica tradicional es aquella que está preparada con materia prima natural, que de acuerdo con su función pueden ser plásticas o no plásticas. Las primeras son esencialmente arcillas. Las no plásticas pueden tener una función de "desengrasantes" (materiales que reducen la plasticidad permitiendo una mejor manejo y facilitando el secado), o son elementos "fundentes" (que facilitan una cocción a menor temperatura e introducen los elementos necesarios para la formación de nuevas fases). Con base a la temperatura de cocción y coloración final se le puede clasificar tal como está descrito en la tabla 2, como material plástico, fundente, desengrasantes, pigmentos e impurezas no deseables.

Tabla 2. Rango composicional admitido para cerámica estructural. Tomado de Galán & Aparicio

Material plástico (50-70%)	Fundentes	Desengrasantes	Pigmentos (fundentes)	Impurezas no deseables
Illita, caolinita y Clorita.	Feldespato (<10%)	Cuarzo (10- 30%) Calcita, dolomita <20%	Óxidos de Fe (Mn, Ti) 0,5- 10%	Yeso, halita

Tabla 3. Composición química de arcillas comunes utilizadas para cerámicas estructural según Palmonari & Terraglia, 1985.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PC	CaCO ₃
1	49,50	13,46	3,98	0,27	1,94	11,90	1,84	2,11	15,54	20,51
2	46,01	13,62	4,48	0,23	1,75	13,52	2,02	2,28	15,70	22,37
3	39,24	15,01	3,74	0,45	2,51	16,74	1,19	2,25	18,56	28,30
4	46,12	14,81	6,21	0,09	1,92	11,51	1,97	1,92	16,52	20,22
5	47,31	14,23	6,51	0,07	2,07	10,21	2,04	2,07	15,42	18,78

3.3.7 Límites de Atterberg

Llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía de un suelo a otro (ver figura 6).

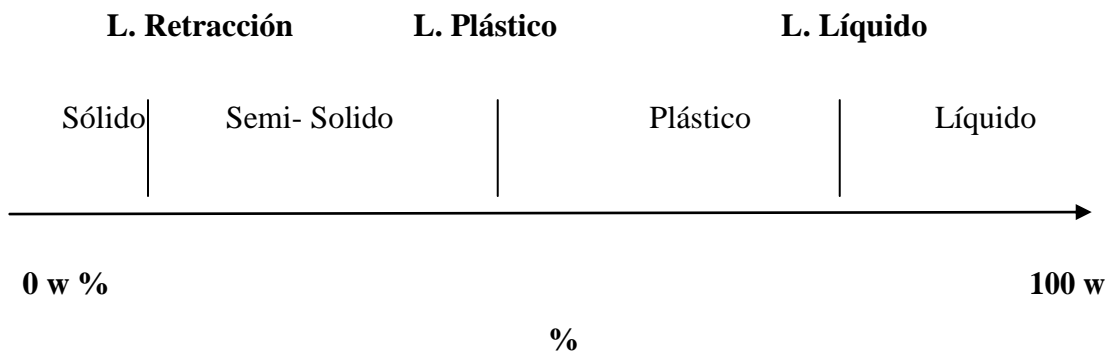


Figura 6. Límites de Atterberg. Tomado de Guía en línea (consultada 05 de Febrero de 2017) http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/limites.pdf

Los límites establecidos para diferenciar los distintos estados de consistencia se deben obtener a partir de la fracción que pasa por el tamiz N° 40, descartando la

porción retenida (Jiménez & Justo, 1971).

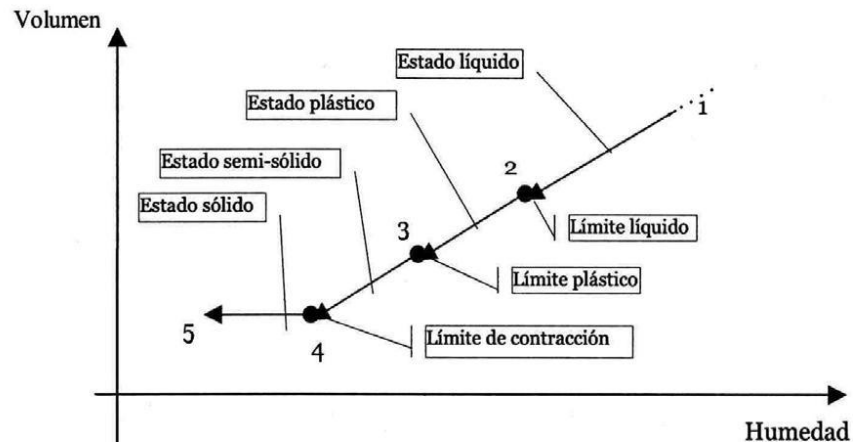


Figura 7. Trayectoria humedad-volumen de un suelo amasado

Tomado de <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de.html> (consultada 06 de Febrero de 2017)

3.3.7.1 Límite líquido

Jiménez & Justo (1971) lo definen como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado mediante un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo del fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo.

Por lo general los materiales granulares tienen límites líquidos bajos y en algunos casos no lo presentan y los de grano fino tienen límite líquido elevado y contienen muchos minerales absorbentes de agua.

3.3.7.2 Límite Plástico

Es el punto en el cual el suelo pierde cohesión por falta de humedad, en general es el mínimo contenido de humedad que permite amasar una muestra en

cilindros de 3mm de diámetro sin que se resquebraje o quede cuarteado. Modificado Jiménez & Justo (1971).

3.3.7.3 Índice de plasticidad

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, denominado índice de plasticidad (*IP*), representa una medida satisfactoria del grado de plasticidad de un suelo. Cuando mayor es el índice plasticidad del suelo menor es permeabilidad. (Jiménez & Justo, 1971).

Se denota mediante la expresión:

$IP=LL-LP$

Donde:

IP: índice de plasticidad LL: Limite líquido LP: limite plástico

- Suelos desmenuzables ($IP < 1$)
- Suelos débilmente plásticos ($1 < IP < 7$)
- Suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$)
- Suelos altamente plásticos ($IP > 15$)

Tabla 4 Sistema unificado de Clasificación de suelos de grano fino. Tomado y modificado de González de Vallejo (2002).

<i>Suelos de granos finos</i>	<i>Limos y arcillas con límite líquido menor a 50</i>	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
	<i>Limos y arcillas con límite líquido mayor a 50</i>	MH	Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o con diatomeas, suelos limosos
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas.
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta.

3.3.8 Humedad natural

Ugas (1985), define el contenido de humedad (ω) como la relación entre el peso de agua en la muestra ($W\omega$) y el peso de la muestra secada al horno (WS) a una temperatura constante de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas o hasta que no se registre variación del peso. Si el suelo contiene material orgánico la temperatura debe ser no mayor a 60°C para evitar alterar las sustancias que lo constituyen.

El secado a 105°C 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. Vargas y otros (1992), establecen que este ensayo es utilizado para determinar el contenido de humedad de los suelos y se expresa en porcentaje.

3.3.9 Propiedades de los minerales de arcilla

En general, cuanto mayor es la cantidad de minerales arcillosos en el suelo, mayor es la plasticidad, así como la compresibilidad y la cohesión, mientras que la permeabilidad y el ángulo de fricción interno disminuyen. El comportamiento de las partículas de arcilla está fuertemente influido por las fuerzas de superficie, ya que al tratarse de granos muy finos la superficie específica alcanza valores altos. El agua es fuertemente atraída por la superficie de los minerales de arcilla dando como resultado la plasticidad. Jiménez & Justo (1971) establecieron que:

1. Tanto el límite líquido como el límite plástico para cualquiera de los minerales arcillosos pueden variar dentro de un amplio rango.
2. Para cualquier mineral de arcilla, el rango de valores de límite líquido es mayor que el rango de valores de límite plástico.
3. La variación en el límite líquido entre los diferentes grupos de arcillas es mucho mayor que la variación en los límites plásticos.
4. El tipo de catión absorbido tiene mayor influencia en minerales de alta

plasticidad (montmorillonita) que en minerales de baja plasticidad (caolinita).

5. El incremento de la valencia del catión hace disminuir el valor del límite líquido de las arcillas expansivas, pero tiende a aumentar los valores del límite líquido de los minerales no expansivos.

3.3.10 Difracción de rayos X

El descubrimiento de los rayos X en 1912 permitió a los científicos probar la estructura cristalina a nivel atómico. La difracción de rayos X ha sido usada en dos áreas principales, para la caracterización de la huella digital de materiales cristalinos y la determinación de su estructura

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia y de muy corta longitud de onda, 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a 10^{-9} m). Estos rayos se generan cuando un haz de electrones de alta energía o velocidad incide sobre la materia la cual es aproximadamente el mismo tamaño que un átomo. Esta radiación ocurre en la porción del espectro electromagnético entre los rayos gamma y los ultravioleta. (Grande, 1996).

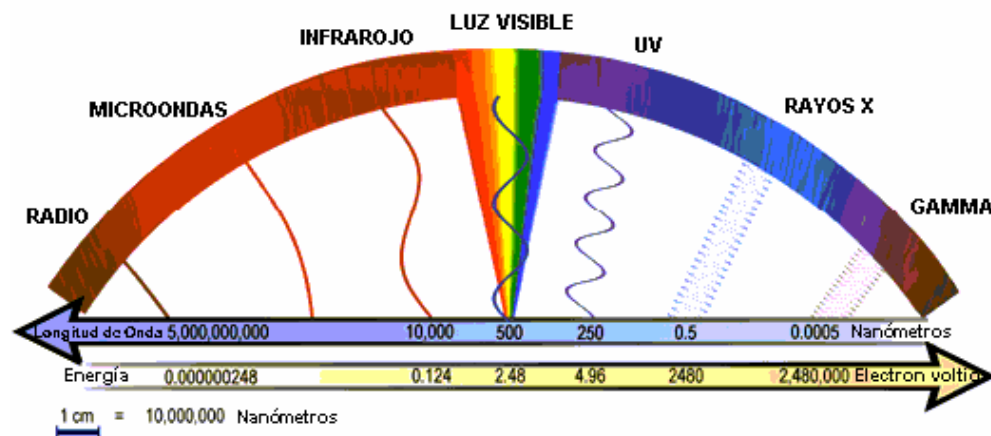


Figura 8. El espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda. (Tomado y modificado de Arias 2004).

Arias (2004) dice que la aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación X.

Los rayos X que más interesan en el campo de la difracción rayos X son aquellos que disponen de una longitud de onda próxima a 1 Ångstrom (Figura 11) y corresponden a una frecuencia de aproximadamente 3 millones de THz (tera-herzios) y a una energía de 12,4 keV (kilo-electrón-voltios). (Poppe *et al.*, 2001).

La aplicación fundamental de la difracción de rayos X es la identificación de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación x. (Figura 11) Poppe *et al.* (2001).

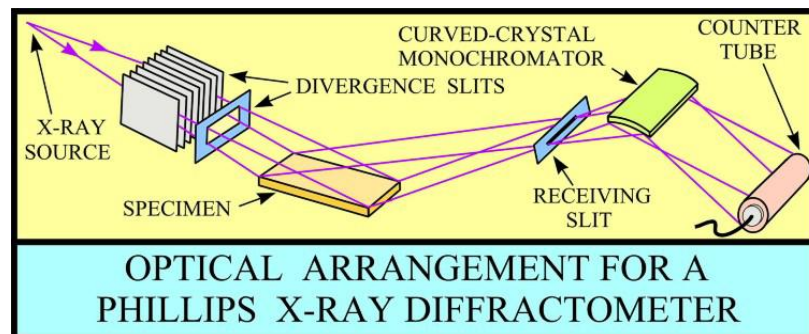


Figura 9. Esquema del sistema óptico de un difractómetro de rayos x Philips. (Tomado y modificado de Poppe *et al.* (2001))

Cada sólido cristalino tiene un único patrón característico de rayos X el cual puede usarse como una huella digital única para su identificación. Una vez que el material ha sido identificado, la cristalografía de rayos X puede ser usada para determinar su estructura, Poppe *et al.* (2001).

Cornelis & Cornelius (1998) expresa que Bragg observó que aunque los rayos X eran verdaderamente difractados por los cristales actuaban como si se reflejaran en los planos dentro del cristal, sin embargo no son reflejados de manera continua demostrando que se produce una reflexión en una familia de planos paralelos solo en ciertas condiciones, dicha condición deben satisfacer la ecuación: $n\lambda = 2d\text{sen}(\theta)$.

Donde:

n: es un número entero

λ : Longitud de Onda

θ : Angulo de reflexión

d: distancia entre los planos paralelo

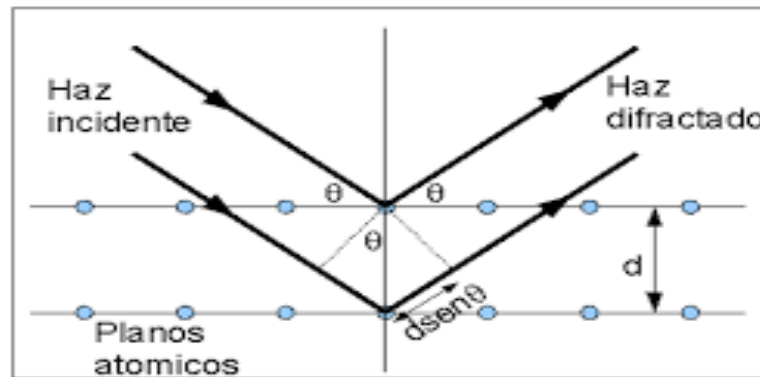


Figura 10. Reflexión de rayos X entre dos planos de átomos en un sólido. Ley de Bragg. Tomado de <http://liquidosysolidos607.blogspot.com/2014/01/difraccion-de-bragg.html>

3.3.10.1 Método de análisis de polvo por difracción de rayos X

En esta técnica se utiliza una muestra pulverizada de muchos cristales para que tenga lugar una orientación al azar y asegurar que algunas partículas estarán orientadas en el haz de rayos X para que cumplan las condiciones de difracción de la ley de Bragg. Modificado de Smith & Hashemi (2004)

La aplicación principal del método es la de identificación de minerales, se puede usar sin conocer la estructura o simetría del cristal. Un registro se encarga de graficar automáticamente la intensidad del haz difractado mientras el contador se

desplaza, se muestra una gráfica de la intensidad del haz de rayos X difractado en función de los ángulos de difracción 2θ .

De esta forma, los ángulos de los haces difractados y sus intensidades pueden ser registrados simultáneamente. Algunas veces se utiliza una cámara de polvo con un rollo de película incorporado en vez del difractómetro, pero este método es mucho más lento y en la mayoría de los casos, menos conveniente. Modificado de Cornelis & Cornelius (1998)

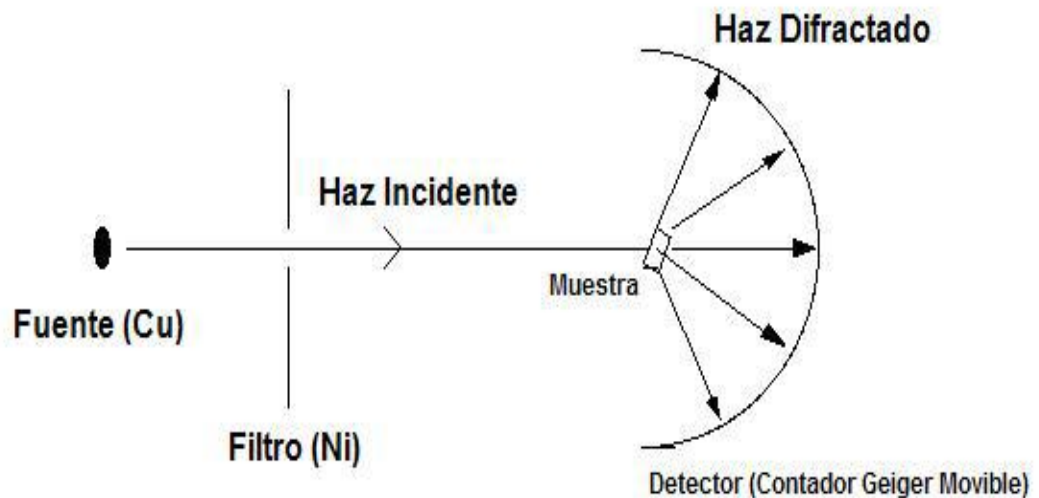


Figura 11. Esquema de un difractómetro de rayos X.
Tomado y modificado de: <http://www.webmineral.com>

3.3.11 Fluorescencia de rayos X

Es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X. La radiación X expulsa electrones de capas interiores del átomo. Dubessy, Poty & Ramboz, (1989).

La espectrografía de emisión de rayos X, tiene como finalidad principal el análisis químico elemental, tanto cualitativo como cuantitativo, de los elementos comprendidos entre el flúor (F) y el uranio (U). (Dubessy, *et al.*1989)

3.3.11.1 Fundamentos del método

Dubessy *et al.* (1989) expresan que los electrones se encuentran en el átomo distribuidos en los distintos niveles y subniveles de energía. Los electrones se sitúan en estos niveles ocupando primero aquéllos de menor energía hasta colocarse todos; a este estado de mínima energía del átomo se le denomina estado fundamental.

Al bombardear estos átomos con un haz de electrones o con fotones de rayos X, una pequeña parte de la energía se invierte en la producción del espectro característico de rayos X de los elementos que componen la muestra bombardeada. El proceso de producción de este espectro característico está dado por:

Excitación: el choque de un electrón X incidente con un electrón de las capas internas del átomo, produce la expulsión de dicho electrón quedando el átomo en estado de excitado Dubessy *et al.* (1989)

Emisión: este átomo en estado excitado tiende a volver inmediatamente a su estado fundamental, para lo cual se producen saltos de electrones de niveles más externos para cubrir el hueco producido. En este proceso hay un desprendimiento de energía Dubessy *et al.* (1989)

Al identificar la longitud de onda de las radiaciones se puede conocer los elementos que componen la muestra, y al medir sus intensidades se puede conocer sus respectivas concentraciones.

En la siguientes figura 12, se muestra el esquema de un espectrómetro de fluorescencia de rayos X clásico de dispersión de longitudes de onda, llamando así porque el espectro de fluorescencia policromático emitido por la muestra al ser

excitada por un haz de radiación producido por un tubo de rayos X, es descompuesto en sus componentes monocromáticas en función de sus longitudes de onda, al difractarse en un monocristal de espaciado conocido. El haz difractado para cada posición angular del monocristal incide sobre un detector, generalmente un detector de gas proporcional de flujo o de centelleo, que convierte los fotones en impulsos eléctricos. Dubessy *et al.* (1989).

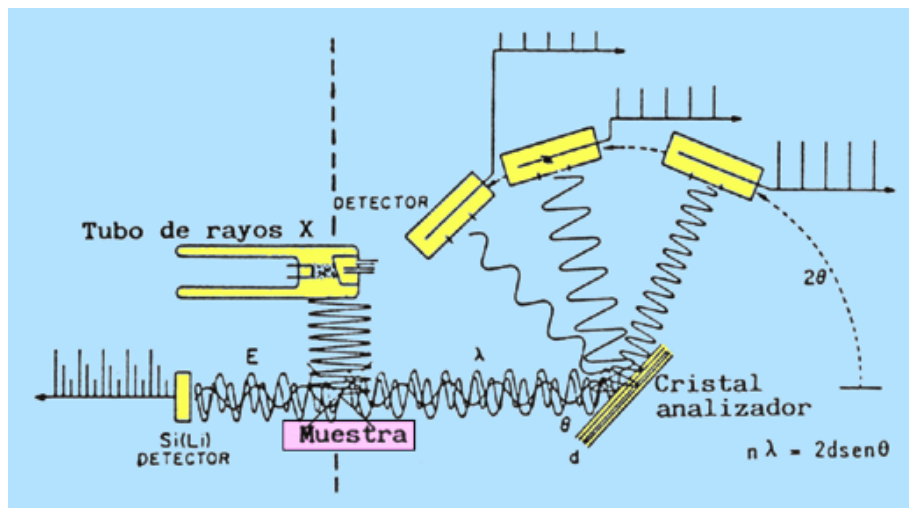


Figura 12. Esquema de un espectrómetro de fluorescencia de rayos X. Tomado de <http://www2.uned.es/cristamine/mineral/metodos/xrfs.htm>

La fluorescencia de rayos X puede aplicarse al análisis cualitativo y cuantitativo de una gran variedad de muestras tales como cenizas, minerales, materiales cerámicos, metales y aleaciones. Las muestras pueden ser sólidas o estar disueltas.

El análisis cualitativo se basa en la identificación de los picos del espectro obtenido haciendo girar lentamente el soporte donde va colocado el cristal analizador. Conociendo el parámetro d del cristal analizador y el ángulo de incidencia de los rayos X, es posible obtener la longitud de onda de los rayos X.

Para el análisis cuantitativo, se elige un pico de máxima intensidad, y mínimo

ruido de fondo y se cuentan los impulsos durante un tiempo suficientemente grande para conseguir una precisión satisfactoria. El calibrado se lleva a cabo utilizando muestras patrón de composición virtualmente igual a la del problema, lo cual no siempre es factible. Con frecuencia se recurre al método de adición estándar y, sobre todo, al del patrón interno.

Las ventajas indicadas por Baritto (2003) son:

- Una adecuada sensibilidad absoluta y relativa, las cuales la hacen comparable en su alcance con otras técnicas analíticas potentes.
- Gran versatilidad, ya que permite la determinación simultánea de un número considerable de elementos.
- Amplio rango de aplicación pues los diferentes métodos empleados permiten su aplicación en la determinación de la concentración química de más de 5 órdenes (ppm).
- Cantidades y manipulación mínima de la muestra para el análisis, lo que redundo en un apreciable beneficio de la garantía de eliminar fuentes de errores y contaminación de las muestras.
- Tiempos de análisis relativamente cortos (5 a 90 minutos por muestra)
- Costos relativamente bajos en comparación con otros métodos analíticos.

Una ventaja obvia de los sistemas dispersores de energía es la sencillez y ausencia de partes móviles en los componentes de excitación y detección del espectrómetro. Además, la ausencia de colimadores y de un cristal difractor, así como la cercanía entre el detector y la muestra, incrementa 100 veces o más la energía que llega al detector (Tomado de Skoog, 2008).

3.3.12 Reserva

Es aquella porción del recurso medido o indicado, económicamente extraíble de acuerdo a un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero

derivado de un plan minero. Donde los volúmenes de mineral con su respectiva ley han sido estimados por medio de procesos de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas que pueden representar geoestadísticamente a un cuerpo mineralizado. Modificado de Bustillo & López (1997).

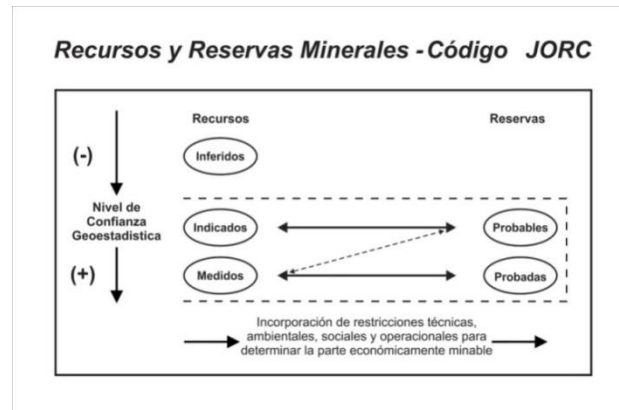


Figura 13. Recurso y reserva mineral.
Tomado de Bustillo M. & López J. (1997)

Los Recursos Inferidos son aquellos que tienen un bajo grado de confianza geoestadística pues han sido inferidos a base de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones puntuales y aisladas que no pueden ser corroboradas en continuidad geológica y contenido metálico con los lugares más próximos y cercanos. Modificado de Bustillo & López (1997).

Los Recursos Indicados son aquellos que tienen un aceptable grado de confianza geoestadística sobre la base de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones cuyo geoespaciamento es de naturaleza considerable por lo que puede asumirse pero no confirmarse continuidad geológica y contenido metálico. Modificado de Bustillo & López (1997).

Los Recursos Medidos son aquellos que tienen un alto grado de confianza geoestadística sobre la base de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes,

calicatas o perforaciones cuyo geoespaciamento es lo bastante cercano para concluir continuidad geológica y contenido metálico. Modificado de Bustillo & López (1997).

3.3.12.1 Reservas Probables

Es aquella porción del recurso indicado, eventualmente medido, económicamente extraíble. Esta Reserva incluye el material diluyente, y pérdidas de explotación. Se incluyen estudios de factibilidad, mineros, metalúrgicos, ambientales, económicos. Son las reservas no probadas que el análisis de datos de geología e ingeniería sugieren que son menos ciertas que las probadas. En este contexto, cuando se usan métodos probabilísticos, debe existir al menos una probabilidad de 50 % de que la cantidad a ser recuperada será igual o excederá a la suma del estimado de reservas probadas más las probables. Modificado de Bustillo & López, (1997).

3.3.12.2 Reservas Probadas

Es aquella porción del recurso medido, económicamente extraíble. Esta Reserva incluye el material diluyente, y pérdidas de explotación. Se incluyen estudios de factibilidad, mineros, metalúrgicos, ambientales, económicos, legales y factores regulatorios ambientales. Son las cantidades de mineral que por análisis de datos de geología de superficie e ingeniería, pueden ser estimadas con "razonable certeza" que serán recuperables comercialmente, a partir de una fecha dada, de reservorios conocidos y bajo las actuales condiciones económicas, métodos de operación y regulaciones.

Las reservas probadas pueden ser sub-divididas en desarrolladas y no desarrolladas. Modificado de (Bustillo & López 1997).

3.4 Marco metodológico

Los métodos y técnicas empleados para la obtención de resultados están divididas en cinco fases, que incluyen una secuencia de actividades teóricas y prácticas de oficina y de campo encaminadas a la ejecución de una investigación geológica que permita caracterizar y cartografiar las rocas sedimentarias pertenecientes a las formaciones y miembros que afloran en la Península de Araya y evaluar la calidad de estas rocas como materia prima para la industria alfarera.

3.4.1 Metodología

A continuación se presenta la Figura N° 14, el Flujograma correspondiente a los pasos seguidos para desarrollar el aspecto metodológico del presente T.E.G., donde más adelante se describe cada pasó:

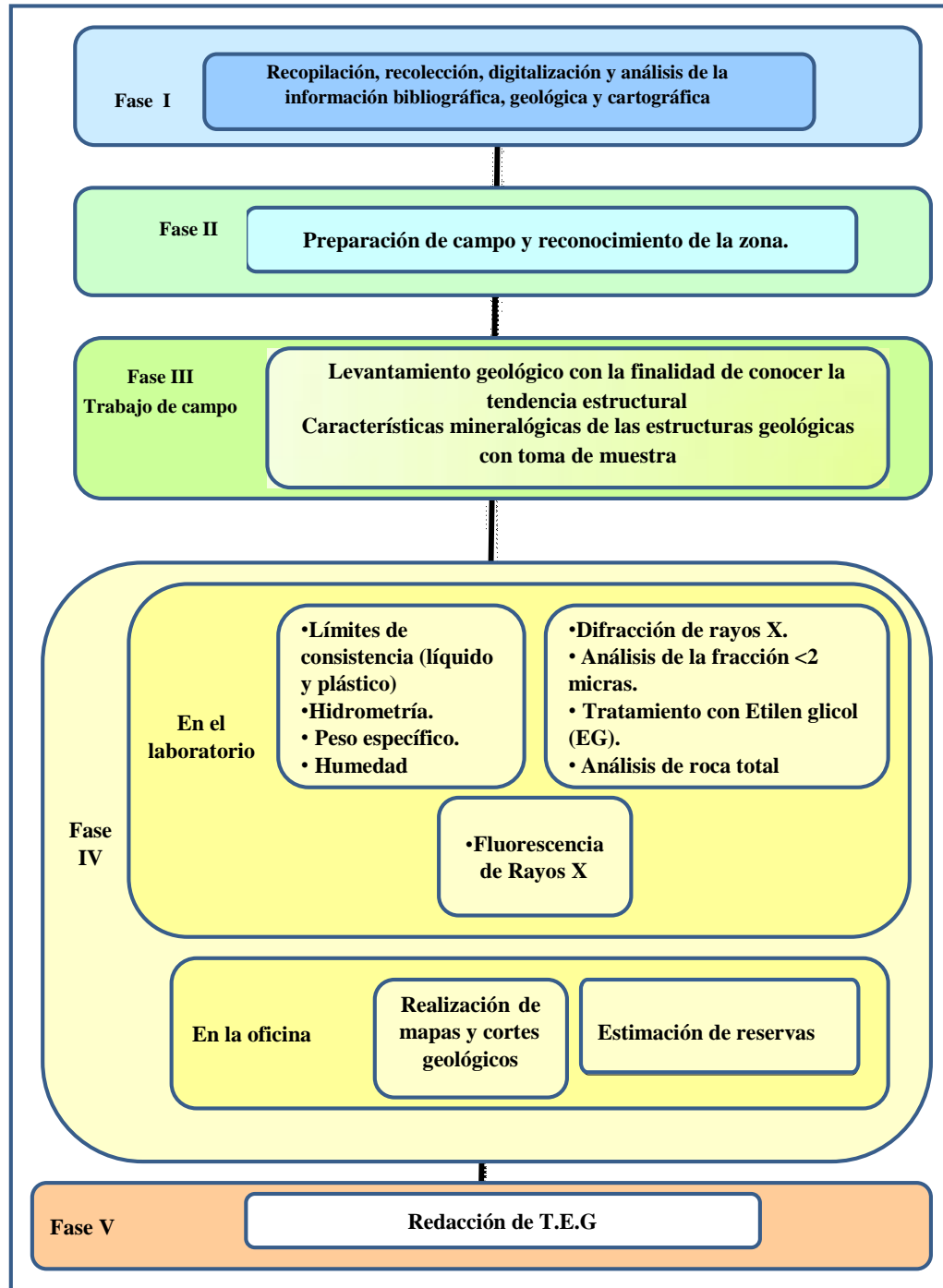


Figura 14. Flujograma metodología de trabajo seguida en el presente trabajo.

3.4.1 Fase I: Recopilación de información

En esta fase se efectuó la recopilación, recolección, digitalización y análisis de la información bibliográfica, geológica y cartográfica existentes de la zona de estudio y su entorno que facilitaron las tareas de campo y análisis de resultado ya sea en publicaciones existentes en congresos geológicos nacionales e internacionales, trabajos Especiales de Grado y en materiales relacionados, acerca de la zona de estudio, además de los métodos propuesto difracción de rayos X, , ensayos de humedad relativa y plasticidad del material.

3.4.2 Fase II: Preparación de la etapa de campo y reconocimiento general de la zona.

Consistió en reunir todo lo necesario para la labor de campo y vías de acceso, diseñar un cronograma para el levantamiento acorde con los objetivos y la interpretación geológica realizada con las fotografías aéreas.

Para el desarrollo el de esta fase algunas de las labores fueron:

- Identificación de la zona de estudio
- Establecimiento de límites exactos
- Ubicación de la zona en mapas topográficos escala 1:25.000
- Elaboración de un plan operativo para el levantamiento

3.4.3 Fase III: Trabajo de campo

En esta tercera fase se realizó aproximadamente en 7 días donde se recolectó la mayor cantidad de datos geológicos representativos en la zona estudiada con la geología de superficie y recolección de muestras de mano. El levantamiento geológico se realizó con la finalidad de conocer la tendencia estructural (rumbo y buzamiento), comportamiento, características mineralógicas de las estructuras geológicas. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

1) Representar en el mapa topográfico los puntos de ubicación de las muestras en base a coordenadas geográficas mediante GPS, considerando un rango de error de 10m aproximadamente.

2) Selección y toma de muestras.

3) Realizar la descripción litológica y geométrica completa de los afloramientos tomando en cuenta parámetros litológicos como por ejemplo cambios importantes de composición mineralógica, etc.

3.4.4 Fase IV: Etapa de laboratorio y oficina

En esta etapa se caracterizaron visualmente y mediante ensayos de laboratorio las muestras de mano tomadas en campo.

A.- En la oficina

1. Organizar y procesar los datos obtenidos en campo.
2. Realizar los cortes geológicos y mapas de ubicación de los depósitos.
3. Analizar la correspondencia de los datos obtenidos en campo con la información bibliográfica de la zona.

B.-En Laboratorio

Durante esta etapa se llevó a cabo la descripción de las muestras de mano y los ensayos de laboratorio pertinentes para caracterizar las muestras obtenidas donde se seleccionaran para someterlas a los siguientes ensayos: límites de consistencia (plástico y líquido), hidrometría, peso específico, difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X.

B.1.- Ensayos de caracterización de suelos

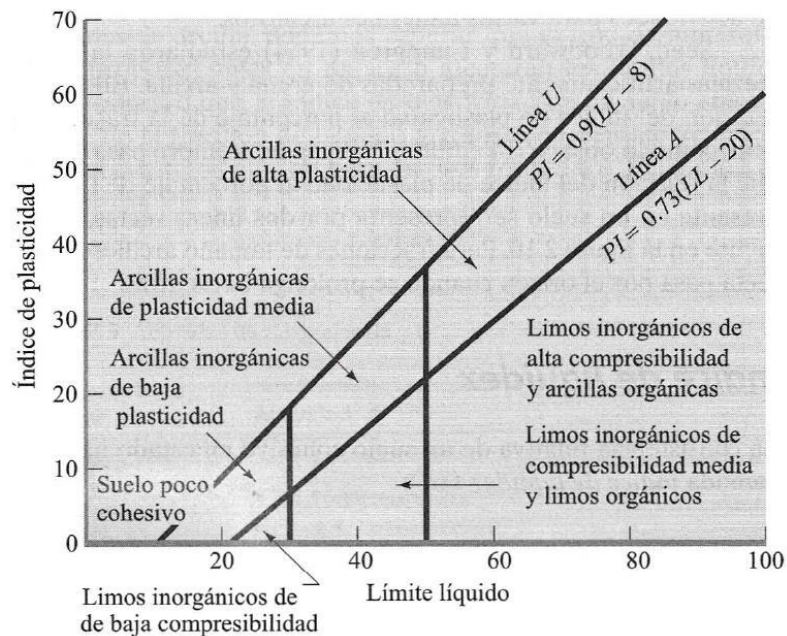
B.1.1.-Límites de consistencia (líquido y plástico)

Los ensayos de los límites de Atterberg (Líquido y Plástico) que 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 Braja M. Das, (2001).

La preparación de la muestra consiste en disgregar la muestra en un mortero, luego tamizarla por un tamiz número 40 y lo que pase es lo que se usó para ser mezclado con contenido de variable de agua para proceder a realizar los ensayos. Braja M. Das (2001).

Estos ensayos se llevaron a cabo en los Laboratorios en “Ingenieros De Santis”. Con estos ensayos 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 (Figura 5) se puede saber qué tipo de material fino es, además de conocer si es de naturaleza orgánica o inorgánica y así conocer el índice de plasticidad.



**Figura 15 Carta de plasticidad de Casagrande.
Tomado de Braja M. Das, 2001.**

B.1.1.1.-Límite Líquido (LL):

Método de ensayo propuesto por la Norma ASTM D 4318.

Instrumentos y equipos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza con apreciación: 0,01g. (Balanza Electrónica).
- Espátula.
- Aparato de límite líquido (máquina 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.
- Plato de evaporación de porcelana.
- Herramientas y accesorios. Placas de vidrio, agua destilada, recipientes herméticos, malla N° 40 ASTM y probeta de 25 ml de capacidad.

Muestra:

- De 150-200 gr de material pasante del tamiz N° 40.

Procedimiento:

- Se añade agua a la muestra y se amasa.
- Se deja reposar por 1 hora.
- Se rellena la cuchara de Casa Grande con una capa uniforme de 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 un surco con el ranurador desde el interior hasta el borde dejando un canal limpio y claro.

- Se cuenta el número de golpes (N) para que el surco se cierre aproximadamente 12 mm.
- Se determina mediante el ensayo anterior la humedad del suelo.
- Se repite el procedimiento desde el tercer paso, limpiando y secando previamente la cuchara y disminuyendo el contenido de humedad de la muestra, hasta obtener 2 ensayos en los cuales el número de golpes necesarios para el cierre de la ranura esté en los rangos de 15 a 20 y de 20 a 30.
- Se registran los datos en una planilla y se calcula el porcentaje de humedad.

Se calcula el valor del límite líquido para ambos ensayos, mediante la siguiente expresión: (Modificado de Jiménez & Justo 1971).

$$LL = w_N \cdot \left(\frac{N}{25} \right)^{\tan \beta}$$

Donde:

LL = Límite líquido.

w_N = Contenido de humedad natural.

N = Número de golpes.

$\tan \beta$ = Pendiente de la línea de flujo (0.121 es una buena aproximación).

VARIABLES QUE PUEDEN AFECTAR EL RESULTADO DE LA PRUEBA DEL LÍMITE LÍQUIDO:

- Utilizar una porción mayor de suelo a ensayar en la cuchara, no cumplir con la frecuencia de golpes especificada (2 golpes por segundo), el tiempo en realizar la prueba y la humedad del laboratorio.
- También podrá afectar el tipo de herramienta empleada para hacer la ranura.
- La altura de caída de la cuchara debe ser verificada antes de comenzar un ensayo, utilizando el mango de calibre de 10 mm. de no tener la altura especificada, se aflojan los tornillos de fijación y se mueve el de ajuste hasta obtener la altura requerida.
- El tiempo de curado varía según el tipo de suelo. En suelos de alta plasticidad se requerirá de por lo menos 24 horas, en cambio en suelos de baja plasticidad, este plazo puede ser mucho menor e incluso en ciertos casos puede eliminarse.

- En suelos arcillosos el acanalador será pasado una vez, en cambio para limos se requerirán 2 a 3 pasadas, limpiando cada vez el acanalador.

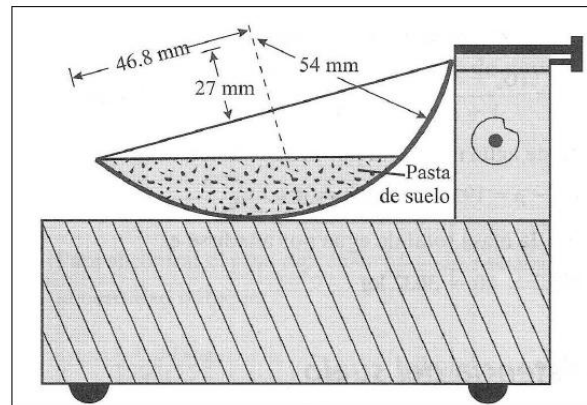


Figura 16 Cuchara de Casagrande. Tomado de Braja M Das 2001

B.1.1.2.-Límite Plástico (LP):

Método de ensayo propuesto por la Norma ASTM D 4318.

Instrumentos y equipos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanza con apreciación de 0,01 gr.
- Tamiz N° 40.
- 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.
- Herramientas y accesorios: malla #40 ASTM, agua destilada y recipientes herméticos.

Muestra:

- De 150-200 gr 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.
- Se reúnen los trozos de los cilindros en un recipiente y se pesan.
- Se determina el contenido de humedad, secándolo en el horno y éste valor obtenido corresponde al límite plástico. (Jiménez & Justo 1971).

B.2.-Índice de Plasticidad (IP):

Se determina mediante la siguiente expresión: $IP = LL - LP$

Posteriormente, se ubican los valores obtenidos, límite líquido e índice de plasticidad, en la carta de plasticidad propuesta en la Norma ASTM D24B7. Jiménez & Justo (1971).

B.3.- Hidrometría

Método de ensayo propuesto por la Norma ASTM D.

Instrumentos, equipos e insumos:

- Horno de temperatura controlada, capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.
- Balanza con apreciación: 0,01g. (Balanza Electrónica, Marca: **Ohaus**, Modelo: **Explorer**, Capacidad: 4.100g).
- Tamiz N° 10.
- Agitador eléctrico estandarizado.
- Hidrómetro estandarizado.
- Cilindro de sedimentación.

- Termómetro con apreciación de 0,5°C.
- Cronómetro.
- Agente dispersante (Hexametáfosfato de Sodio).
- Agua destilada.
- 50 gr aproximadamente para suelos limosos o arcillosos pasante del tamiz N° 10.

Procedimiento:

- Se seca la muestra y se calcula el contenido de humedad.
- Se prepara 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.

B.3.1 Determinación de la corrección compuesta de las lecturas del hidrómetro

- Se prepara una solución de 125 ml del defloculante más agua destilada hasta completar 1 litro.
- Se mide la temperatura y cuando esta sea constante, se inserta el hidrómetro y se espera un intervalo de tiempo hasta que este adquiera la misma temperatura del líquido.
- Se procede a tomar la lectura en el tope del menisco formado en el cuello del hidrómetro, así como la temperatura del líquido.

Dispersión de la muestra

- Se coloca la muestra en un recipiente con la solución y se deja reposar por un período de 16 horas.
- Se transfiere la muestra al vaso de dispersión, añadiendo agua destilada hasta completar la mitad de capacidad del recipiente.

- Se agita el equipo durante un minuto.

B.3.2 Mediciones con el hidrómetro

- Inmediatamente después del proceso de dispersión, se transfiere toda la muestra al cilindro de sedimentación.
- Se añade agua destilada hasta completar un volumen de 1 litro.
- Se tapa el extremo del cilindro, con un tapón hermético y se agita invirtiéndolo hacia abajo y hacia arriba, durante un minuto.
- Se coloca el cilindro sobre una superficie nivelada y se introduce el hidrómetro con mucho cuidado tratando de no perturbar el medio.
- Se contabiliza el tiempo desde que se coloca el cilindro sobre la superficie.
- Se toman las lecturas del hidrómetro en los siguientes intervalos: 0.5, 1, 2, 5, 15, 30, 60, 250 y 1440 min.
- **Procesamiento de datos**
 - Se corrigen las lecturas del hidrómetro sumándole la corrección por menisco:
 - Donde:
 - R= Lectura del hidrómetro.
 - R´= Lectura corregida.
 - Cm= Factor de corrección por menisco.
 - Se determina la profundidad efectiva L.
 - Se estima el diámetro de las partículas (D), según la siguiente expresión:

$$D = K \times \sqrt{L/T}$$

Donde:

K = Constante que depende de la temperatura de la suspensión y de la gravedad específica de las partículas de suelo.

T = Lapso desde que se inicia el proceso de sedimentación hasta que se hace la lectura.

- Se determina el factor de corrección por temperatura C_t para cada una de las lecturas realizadas, según la tabla V-3, pág. 54 de UGAS (1985).
- Se vuelven a corregir las lecturas corregidas del hidrómetro R'' , considerando la corrección por agente dispersante y punto cero (C_d) y la corrección por temperatura (C_t), mediante la siguiente ecuación:

$$R'' = R - C_d \pm C_t$$

Donde:

C_d = Lectura realizada en la calibración + C_m + C_t ; que vendría a ser la corrección compuesta.

B.3.3 Cálculo del porcentaje de suelo en suspensión parcial

- Se calcula el factor de corrección de humedad hidrosférica:

$$F_{ch} = \frac{W_s}{W_{sa}}$$

Donde:

- W_s = Peso de la muestra secada al horno.
- W_{sa} = Peso de la muestra secada al aire.
- Se determina el peso seco (W)

$$W = M_{muestra} \times F_{ch}$$

Se calcula el porcentaje de suspensión parcial (%Sp):

Para el Hidrómetro

$$\%Sp = R'' \times \frac{a}{W} \times 100$$

Donde:

a = factor de corrección de la densidad.

B.4- Peso específico

Es la relación entre el peso unitario de las partículas sólidas del suelo y el peso unitario del agua destilada a una temperatura de referencia. Se obtuvo en todas las muestras. El ensayo se lleva a cabo de la siguiente manera:

Se tomaron de 50 ó 100 g de material y se dejaron secar para luego colocar en el picnómetro determinando la masa total y de la muestra. Se llena de agua el envase y se deja remojar por 12 horas evitando las burbujas de agua atrapada en la solución, luego se completa el aforo con agua destilada a temperatura ambiente para finalmente determinar el peso y temperatura del picnómetro con suelo y agua.

El peso específico se calcula a través de la ecuación

$$G = \frac{M_o}{(M_o + (M_a - M_b))}$$

Donde:

G: Peso Específico a 20°C.

Mo: peso de la muestra.

Ma: peso del frasco + agua.

Mb: peso del frasco + muestra + agua.

B.5-Humedad

El contenido de humedad de un suelo es definido como la relación entre el peso húmedo de la muestra (W_w) y el peso de la misma en su fase sólida secada al horno (W_s). Para la realización de este ensayo se siguieron las recomendaciones de la norma ASTM. Se expresa como un porcentaje:

$$W\% = \frac{W_s}{W_w} \times 100$$

Instrumentos y equipos a usar:

- Balanza con apreciación: 0,01g.
- Recipientes (tara)
- 150 gr de material

Pasos para la determinación del contenido de humedad de una muestra:

- Se toma una muestra de suelo la cual es observada, palpada y se anota su consistencia y una litología aproximada.
- Se pesa la muestra, se anota la tara y su peso.
- Se calienta el horno a una temperatura constante entre $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$ en una estufa durante 18 a 24 horas.
- Se hace la diferencia entre el peso original y el peso seco.

Nota: Con los resultados de índice de plasticidad de los límites de consistencia se puede estimar de manera indirecta para fines netamente de investigación y de acuerdo a lo propuesto por Terzaghi (1996), los posibles valores de resistencia como el ángulo de fricción interna (\emptyset) y actividad se calculan mediante las gráficas que se muestran en el capítulo de resultados y análisis con dichos nombres del ensayo a estimar

Donde Terzaghi y otros (1996) estipulan que el ángulo de fricción, el cual corresponde a más o menos arreglos aleatorios de partícula, es principalmente una función tanto del contenido y mineralogía de las arcillas.

Los típicos valores para arcillas blanda, arcillas compactas y lutitas comprenden rangos de 23° a 35° , 20° a 35° y de 15° a 35° respectivamente.

Donde el **Limite de Contracción (Casagrande)**

Consiste en hacer coincidir la línea U y la línea A que corresponde en el tercer cuadrante

Determinación de la actividad

Resultan del cociente del valor de índice plástico entre el porcentaje del tamaño de partícula menor a 0.002 mm (2μ), y dicho valor será llevado a la gráfica de actividad mostrada en el apéndice 3 y así estimar su valor para ayuda a definir el posible potencial de expansión de los suelos cohesivos

Es por ello que Skempton (1953), mencionado por Lambe (1957), 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

$$A = \% P \frac{\% P}{\% < 2 \mu (< 0.002\text{mm})}$$

Dónde: A = Actividad, unidad adimensional.

% IP = Índice de Plasticidad. % < 2

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

Tabla 5. Valores típico de Actividad de los principales minerales arcillosos.

Tomado de Das, B. Principio de Ingeniería Geotécnica

Mineral	Actividad, A
Esmectita	1 – 7
Ilita	0,25 – 1
Caolinita	0,5
Haloisita (2H ₂ O)	0,5
Haloisita (4H ₂ O)	0,1
Moscovita	0,23 – 0,35
Atapulgita	0,5 – 1,2
Alófano	0,5 – 1,2

B.4.-Difracción de Rayos X

Se analizaron 24 muestras pertenecientes a la zona de estudio como se puede apreciar en la figura 1 corresponden a los sedimentos superficiales. Todas las muestras fueron analizadas por difracción de rayos x, para determinar su composición mineralógica.

Esta fase consta de tres partes:

1. Limpieza de las muestras de materia orgánica, oxido y carbonatos.

2. Análisis por difracción de rayos X en roca total: se realizó en el Laboratorio de difracción de rayos X de PDVSA INTEVP. El análisis en “roca total”, consiste en identificar la mineralogía total de las muestras.
3. Análisis por difracción de rayos X de la fracción <2 micras: que comprende el análisis de las 24 muestras antes mencionadas.

B.4.1- Eliminación de óxidos

Materiales

100 – 150 gr. de muestra

40 ml de citrato de sodio

6 gr. de bicarbonato de sodio

Estufa

3 gr. de ditonito

Balanza electrónica





Agitador



Botella

Agitador eléctrico

Centrifugadora

Tabla 6. Metodología a seguir para la eliminación de oxido

<p style="text-align: center;">Paso 1</p> <p>Se utiliza una porción de muestra. Con un mortero de ágata se disgrega (no moler).</p>	
<p style="text-align: center;">Paso 2</p> <p>Calentar la estufa hasta llegar 70 °C, en la botella agregar el citrato de sodio y el bicarbonato de sodio y llevar a baño maría, se le agrega los 3 gramos de ditonito en intervalos de 1 gr. cada 3 minutos hasta completar los 3 gr. y se deja reposar</p>	
<p style="text-align: center;">Paso 3</p> <p>Dejar reposar hasta las muestras se enfríen</p>	
<p style="text-align: center;">Paso 3</p> <p>Llevar las botellas a la de la centrífuga previamente identificados con el nombre de la muestra y equilibrando su peso con agua destilada Equilibrar el peso de las botellas con agua destilada y centrifugar a 900 rpm por 20 min.</p>	

<p style="text-align: center;">Paso 4</p> <p>Dispersar en el ultrasonido por 60 segundos el líquido contenido en las botellas</p>	
<p style="text-align: center;">Paso 5</p> <p>Decantar el líquido de la parte superior de las botellas y repetir el paso 3, 4 y 5 aproximadamente 4 veces (hasta que no tenga una capa de aceite en la parte superior).</p>	

B.42- Eliminación de materia orgánica

Materiales

3 a 5 ml Peróxido de hidrogeno al 30%

Plancha

Procedimiento

Se calienta las muestras en una plancha (figura 4). El peróxido de hidrogeno va ocasionar efervescencia esto es indicativo del contenido de materia orgánica produciendo en algunos casos las reacciones son violentas los cuales puede ser controlados agregándole acetona, una vez el proceso de oxidación de la materia orgánica concluye se adopta el criterio del cese de la efervescencia luego se procede a pesar las muestra para introducirla a la centrifugadora por 10 min. a 1000 rpm el material sobrenadante es decantado (se siguen los mismo pasos del 3- 5 de la eliminación de óxidos encontrados en el método anterior).



Figura 17. Plancha de secado de muestra

B.4.3-Eliminación de carbonato

Se emplea una solución de acetato de sodio con pH 5, el ataque se realiza en caliente para acelerar la reacción y se introduce a baño de maría figura a una temperatura de 80 °C por 24 horas agitando constantemente las primeras horas. Se deja enfriar y se procede con los mismo pasos del 3 al 7 del la eliminación de óxidos.]

B.4.4.- Análisis en roca total

Este análisis por DRX se realizara a todas las muestras recolectadas, en forma de montura desorientada, para así identificar la mineralogía total de la muestra y politipos de minerales de arcilla.

En este proceso se siguieron los pasos que se pueden encontrar en la tesis de Arias (2004).

B.4.5-Análisis de la fracción <2 micras

Con este tipo de análisis sólo se estudian los filosilicatos y consiste en orientar estos minerales según planos basales. Se puede ver la metodología ampliada en Arias (2004).

B.4.6- Tratamiento con Etilén glicol (EG)

Después de analizar las muestras orientadas en condiciones atmosféricas normales (AS), las mismas muestras fueron sometidas a una atmósfera de etilén glicol (EG) para verificar la existencia de arcillas expansiva. Se puede ver la metodología detallada en Arias (2004).

B.5 Fluorescencia de rayos X

Tiene como base la excitación de una muestra. La intensidad producida por los rayos X secundarios es usada para determinar las concentraciones de los elementos presentes en la muestra ya que estos presentan longitudes de onda característicos de cada elemento químico. Para cuantificar es necesario tener una calibración estándar del equipo que sirva como patrón de referencia, para lo cual previamente son efectuadas correcciones que permiten eliminar los errores instrumentales y los efectos de la matriz.

Los rayos X pueden ser detectados sin ser separados en diferentes frecuencias, usando un detector el cual mide la energía así como la intensidad de los rayos X. Este método es conocido como fluorescencia de rayos X por energía dispersiva. Rollinson (1993).



Figura 18. Equipo de Fluorescencia de Rayos X.

Para este análisis se utilizaron 12 muestras las cuales fueron las más representativas de toda la sección estudiada donde se procesaron en un equipo de Fluorescencia de rayos X (fig. 17), las cuales después de tenerlas pulverizadas, se procedió a prepararlas o “montarlas” en el portamuestra (fig. 18) y se introducen en el equipo de análisis.

Los materiales empleados son los siguientes: portamuestra, alcohol, paleta metálica, filtro Mylar.

Las muestras en forma de polvo sin prensar, fueron montadas en los distintos portamuestras de plástico. Primeramente fue colocado el polvo en la porta muestras, el mismo se compactó dando pequeños golpes al depósito sobre una mesa y se rellenó con papel absorbente para hacer mayor presión, procurando no contaminar la base del depósito, seguidamente se procedió a colocar la película de Mylar de 0.02 μ que a la vez que protege la muestra de una posible contaminación y finalmente se coloca un aro que sujeta la muestra con la película de Mylar.



Figura 19. Portamuestras para FRX.

Después de montadas las muestras en un portamuestras (Fig. 18), se procede a introducirlas en el equipo de Fluorescencia de rayos X o de espectrometría gamma.

B.6-Estimación de Reservas

- Primero hay que conocer la geología del prospecto y el modelo de yacimiento

- Delimitar el cuerpo Mineral.



Figura 20. Cuerpo geológico. Tomado de Bustillo M. & López C (1997)

3.4.5 Fase V: Redacción del informe final y elaboración de mapas finales.

En esta fase final se integró la información obtenida por investigación bibliográfica, compilación cartográfica, levantamientos de campo y los trabajos de laboratorio y oficina, en un informe final, donde se exponen las conclusiones y recomendaciones en cuanto al potencial de explotación de la zona que se ha estudiado.

Se efectuó cuatro mapas geológicos finales a escala 1:25.000 con cortes geológicos y se estimaron las cantidades de material explotable en la zona de estudio, a través del método de los perfiles.

CAPÍTULO IV

MARCO GEOLÓGICO

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La península de Araya es una topografía que integra parte del Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela; se ubica en el extremo oriental del país y constituye una divisoria de aguas, entre el Mar Caribe, hacia el norte y el Golfo de Cariaco hacia el sur.

Se exponen las diferentes ideas y modelos propuestos por varios autores para explicar la evolución de la geodinámica de la placa Caribe, lo que permite tener un contexto más detallado de sus movimientos relativos, sus interacciones con la placa Suramericana, sus elementos estructurales y eventos geológicos que han tenido lugar al norte de Suramérica durante la era Cenozoica, todo esto con la intención de comprender el contexto geodinámico regional y su relación con la configuración actual del Bloque de Margarita, constituido por las actuales penínsulas de Araya y Paria, Cordillera de la Costa e islas del este del Caribe, así como también el contexto general de las unidades que afloran en la zona de estudio.

Seijas (1972), expresa que los cinturones de la Cordillera de la Costa, presentes en la zona norte-costera de Venezuela, desaparecen debajo del golfo de Cariaco y son reemplazados en la Península de Araya principalmente por rocas metasedimentarias paleozoicas y mesozoicas del margen pasivo del proto-Caribe.

4.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

Según Erlich & Barrett (1990), el origen de la península de Araya se encuentra estrechamente relacionado con la Cordillera de la Costa, evidenciado por las semejanzas en las rocas metamórficas, metasedimentarias y metavolcánicas de ambas regiones, definiendo un bloque que engloba diversas zonas (Tobago, Margarita, Araya-Paria y el “*NortherndeRannge*” Trinidad) conocido como Margarita”.

Erlich y Barrett, 1990; plantean que el movimiento dextral de la Placa Caribe causo el fracturamiento y traslación de parte del Bloque de Margarita durante el Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano. Posteriormente la convergencia de este bloque sobre el margen noreste de Suramérica, causó compresión y transpresión de este bloque, posiblemente originando el plegamiento de La Serranía del Interior y llevando a sus actuales posiciones a las penínsulas de Araya-Paria.

Mujica (2017) expresa que Avé Lallemant (1990), en Ysaccis, (1997), propone que, en la zona noreste de Venezuela, el límite Caribe - Sudamérica consiste en cuatro terrenos tectonoestratigráficos:

- 1) El arco de islas volcánico de las Antillas Neerlandesas.
- 2) El terreno Margarita, es un complejo de subducción o terreno “Forearc” (Cuenca de antearco), caracterizado por rocas metamórficas con alta relación P/T,
- 3) El cinturón de la Cordillera de la Costa, consiste en rocas metamórficas de intermedia a baja relación P/T, cuyo protolito proviene del margen continental pasivo.
- 4) Los pliegues de la Serranía del Interior.

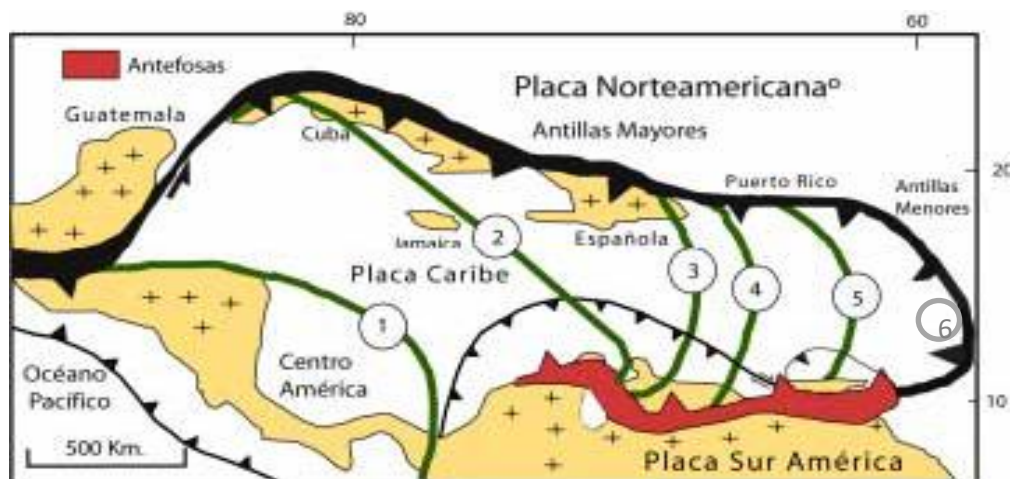


Figura 21 Evolución geodinámica de la placa del Caribe. 1, Cretácico Tardío; 2, Paleoceno; 3, Eoceno; 4, Oligoceno; 5, Mioceno; 6, Mioceno Tardío-Reciente (modificado de Lugo & Mann, 1995).

La evolución geológica durante Cenozoico del nororiente de Venezuela y Trinidad estaría controlada principalmente por el desplazamiento, mediante falla de rumbo, del bloque cortical alóctono denominado “Bloque de Margarita”, Erlich y Barrett (1990), mencionan que el “Bloque de Margarita”, es un complejo metamórfico, deformado, que se extiende a lo largo de la península de Araya-Paria, Isla de Margarita, región norte de Trinidad y Tobago, figuras 22.

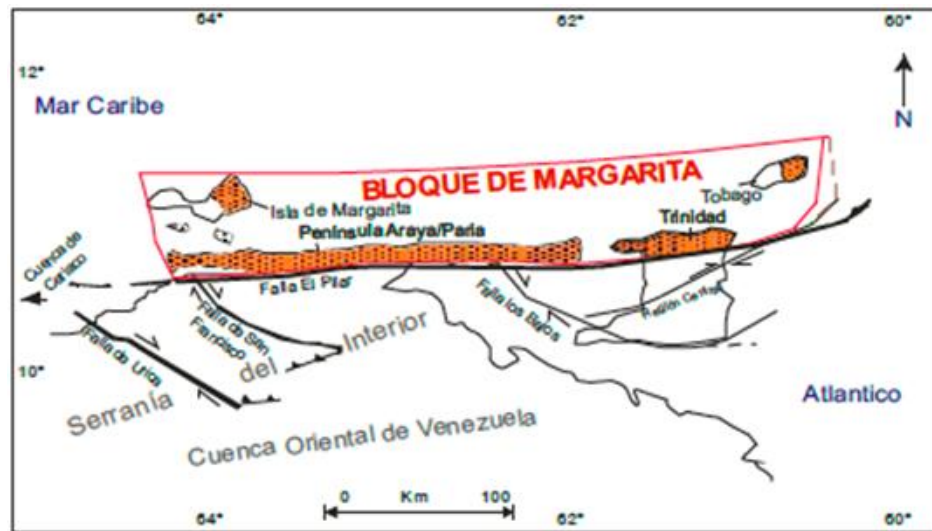


Figura 22 Bloque Margarita, modificado de Erlich y Barrett (1990).

Los datos litológicos y geoquímicos obtenidos en investigaciones previas, permiten sugerir que las rocas metamórficas del “Bloque de Margarita”, que afloran en la península de Araya-Paria, Margarita, Sierra Norte de Trinidad y Tobago, constituyeron una vez parte del cinturón metamórfico de la Cordillera de la Costa, mencionadas por Schubert, (1972); Vignali, (1979); Navarro, (1981); Ostos, (1990). Pertenecen a una secuencia marina de margen continental.

Dentro del modelo geodinámico propuesto por Erlich & Barrett (1990), específicamente sobre el área norte de Venezuela – Trinidad, expresan que el Bloque de Margarita y la Cordillera de la Costa formaron parte de un mismo bloque alóctono, que se desprendió del margen noroccidental de Sur América y fue desplazado en sentido noreste junto con un arco de islas ancestral, a lo largo del límite

occidental de dicha placa, durante el Cretácico Tardío-Paleoceno Temprano, como se puede visualizar en la figura 23.

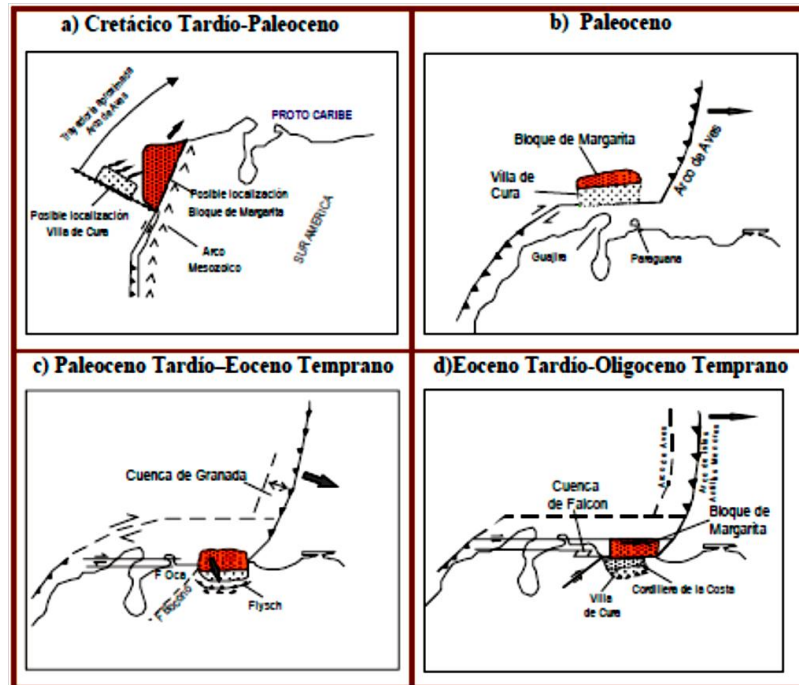


Figura 23. Evolución geodinámica del Norte de Venezuela – Trinidad, tomado y modificado de Erlich & Barrett 1990.

La migración al este del arco de Aves, causa el movimiento en el mismo sentido de los bloques alóctonos a lo largo del límite sur de la placa Caribe, durante el Paleoceno, figura 23 (b).

Un cambio en el movimiento relativo entre las placas Caribe y Sur América durante el Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano, causa la colisión y obducción del bloque alóctono sobre el margen pasivo del borde septentrional de Sur América (región noroccidental de Venezuela), figura 23 (c).

Luego de la colisión, el movimiento hacia el este de la placa Caribe continua, y provoca la fractura del bloque aloctóno obductado, desprendiéndose del mismo la parte que se conoce como “Bloque de Margarita”.

En este tiempo, Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano, se generan también las cuencas de Falcón y Bonaire, figura 23 (d).

Durante Oligoceno Tardío- Mioceno Temprano, un cambio menor en el movimiento relativo de la placa del Caribe, produce un paso a la derecha en la falla de Morón, formando la cuenca “pull-apart” de Cariaco y la zona de falla del El Pilar.

El “Bloque de Margarita” continua su movimiento al este y para el Plioceno-Pleistoceno se ha estimado que el mismo alcanza su posición actual

4.3 Elementos estructurales regionales principales, relacionados con la península de Araya y zonas aledañas.

Las rocas sedimentarias que afloran en la zona occidental de la Araya tienen como característica fundamental un buzamiento sumamente bajo del orden de los 5°-12°, algunas veces completamente horizontal. Dichos buzamientos son producto de una deformación tectónica que afecta la secuencia sedimentaria en Araya. (Vignali, 1965).

Giraldo & Beltrán (1989), proponen que los estratos ya mencionados se encuentran basculados dando la impresión de un sistema de anticlinales y sinclinales en la secuencia sedimentaria de Araya producto de una importante deformación tectónica de edad Plio-Pleistocena, la cual se caracteriza principalmente por un fallamiento transcurrente de dirección NE-SO a ENE-OSO.

Las estructuras principales de la zona Araya-Paria y adyacencias son las siguientes:

- 1. La cuenca de Cariaco:** según Ysaccis (2010), menciona que presenta 200 km de extensión y se generó como consecuencia de la acción de relevo en las fallas de San Sebastián, al N, y la falla de El Pilar, al S. La abertura de esta cuenca *pull-apart* está datada en el Mioceno tardío.
- 2. El graben de Humboldt,** donde se asienta el golfo de Cariaco: Macsotay (1976) señala que se encuentra limitado por dos secuencias litológicas de edades Terciario y

Cuaternario que han sufrido diversos períodos de compresión N-S a NO-SE. En el límite meridional del golfo, adyacente a Cumaná, la apertura del graben está reportada en sedimentos Mio-pliocenos.

- 3. La zona de El Pilar:** según Macsotay (1976), constituye una franja de 5 a 6 km de largo, en donde se encuentran escamas de rocas sedimentarias, metamórficas y algunos cuerpos de rocas ultramáficas serpentinizadas, organizados de manera caótica y compleja, debido a la acción de la falla de El Pilar. Según Audemard et al. (2000), el desplazamiento efectuado durante el Neógeno en la falla dextral de El Pilar es de 55 km.

4.3.1 Fallas presentes en la región de Araya.

- 1. Falla de Manicuare:** falla de ángulo alto presente al sur-occidente de la zona de estudio. Su orientación es ENE-OSO.

- 2. Falla de Cariaco:** falla de ángulo alto, ubicada al oriente de la península de Araya.

- 3. Falla de Campoma:** falla de ángulo alto que se encuentra en la zona suroriental.

- 4. Falla de Laguna Grande:** se ubica en el centro de la península de Araya. Es de ángulo alto, y está relacionada con algunos corrimientos.

- 5. Falla de Salazar:** se encuentra al N de la falla de Laguna Grande, y es de ángulo alto, con corrimientos asociados. Parte desde Pta. Salazar, al occidente de la península.

- 6. Falla de Tacarigua:** falla de ángulo alto, de gran extensión, que se ubica al N de la falla de Salazar, y se encuentra entre Manicuare y Taguapire, en el occidente de la zona de estudio.

- 7. Falla El Soto:** es una falla menor ubicada entre Manicuare y El Soto, en la costa sur-occidental de la península. Su orientación aproximada es N65E.

- 8. Falla de Guaranache:** es una falla cubierta de alto ángulo, de rumbo NE, ubicada cerca de El Rincón, en el occidente de la península, presente sobre depósitos cuaternarios sin nombre formal.

- 9. Falla de El Rincón:** es otra falla de alto ángulo cubierta, de orientación NE, ubicada al S de Punta Araya, en el extremo norte-occidental de la península.

10. Falla de Saucedo: falla de alto ángulo que se ubica al oriente de la zona de estudio.

11. Corrimientos y fallas menores: se presentan en diferentes zonas de la península. Algunos corrimientos presentan rumbos aproximados de N80E.



Figura 24. Mapa geológico de la península de Araya, donde se muestran en líneas rojas las fallas principales que afectan ésta zona de la península.

4.3.2 Dominios geológicos estratigráficos regionales de la península de Araya.

Mujica (2017) lo describe en forma regional de la siguiente manera:

- Unidades litológicas: En función de la información modificada del *Léxico Estratigráfico de Venezuela* (1997), se describirán:
 - a. Unidades metamórficas: algunas de las unidades correspondientes al sustrato ofiolítico de la península de Araya, según Chevalier (1987).
 - b. Unidades sedimentarias:

b.1. Unidades sedimentarias con nombre formal. Acorde con Alvarado (2005) y Danielo (1974), se describirán:

b.1.1. Unidades sedimentarias cuaternarias sin nombre formal.

4.4. Marco estructural regional de la zona de estudio.

En sentido O-E afloran:

4.4.1. Terrenos metamórficos

1.1. Terreno Manicuare (TM). Zona centro-occidental. Es un terreno posiblemente alóctono. Se ubica al N de la falla de Salazar. El Terreno Manicuare está compuesto por la siguiente unidad litológica:

1.1.1. Complejo Manicuare (PZm) (Paleozoico): presenta tres subunidades:

Unidad III (PZm3), Unidad II (Pzm2), y Unidad I (PZm1).

Varios autores describen en sus informes inéditos como una serie de esquistos cuarzo micáceo, cuarcita y paragneis que afloran en la parte occidental de la península de Araya con el nombre de Grupo Guamache. Alvarado (2005). Mientras que Schubert (1969, 1972) la describe en sus trabajos, como cristales de cianita y andalucita.

Las principales características del Complejo Manicuare son las siguientes:

- Abarca una franja extensa y ancha, en sentido N80E. Es de gran complejidad tectónica, por lo cual presenta diversas geoformas, corrimientos de rumbo NE, y sistemas de fallas importantes.
- Al O de la península, se presenta en el centro y SE de la Hoja 7347-I-NO El Rincón la Unidad I del Complejo Manicuare, que está en contacto geológico con la Unidad II de dicho Complejo. La Unidad I se encuentra cubierta inconformemente por otras unidades sedimentarias, al NO de esta Hoja.

Además, en el centro y E de la Hoja 7347-I-SO Manicuaire también aflora la Unidad I del Complejo Manicuaire, la cual se prolonga hasta la costa, en el golfo de Cariaco.

- Esta subunidad aparece en contacto con Cuaternario con unidades sedimentarias como la Formación Coche, y los miembros de la Formación Cubagua, así como con depósitos sedimentarios sin nombre formal.

En la tabla 7 se muestran de manera resumidas los aspectos generales de la formación.

Tabla 7 Características de la Formación Manicuaire según diferentes autores

Localidad tipo y descripción litológica	Ext. geográfica y espesor	Contactos	Fósiles y edad	Correlación y paleoambiente
<p>La localidad tipo se encuentra en el camino entre El Guamache y Merito, a través de la península de Araya, especialmente en la parte norte de la misma. SCHUBERT (1972) acota que los principales tipos de roca son esquistos cuarzo micáceos granatíferos (70%) y cuarcitas (29%). Se presenta en bandas alternas de espesor variable, frecuentemente con micropliegues y estructuras de "augen", principalmente con porfidoblastos de plagioclasa y granate (en los esquistos) y de cuarzo, biotita, muscovita y óxido de hierro (en las cuarcitas). Toda la secuencia contiene vetas tabulares de cuarzo blanco o ahumado, las cuales varían entre varios centímetros y varios metros de espesor, paralelas o transversales a la foliación. Ocasionalmente, estas vetas de cuarzo están asociadas a cristales de cianita y andalucita. ESPEJO (1963), ESPINA (1963), MÁRQUEZ (1963), MARTELL (1963), MEDINA (1963), SORONDO (1963), VARGAS (1963) y ZAMORA (1963) mencionan en la mayoría de sus análisis petrográficos la presencia del mineral estauroлита.</p>	<p>Aflora en una franja de 3 a 5 km de ancho en dirección noreste, entre las poblaciones de Manicuaire y Chacopata. Se ha estimado un espesor máximo de 1.500 a 2.000 m, sin exactitud debido a su intensa deformación dúctil y frágil.</p>	<p>Se encuentra en contacto de falla con la Formación Laguna Chica (falla Salazar). El contacto con las unidades sedimentarias terciarias suprayacentes (Formación Cubagua, Formación Coche) es discordante.</p>	<p>No se han encontrado fósiles en esta formación. Su edad ha sido definida en base a la correlación con el Grupo Juan Griego de la isla de Margarita: Jurásico Tardío a Cretáceo Temprano.</p>	<p>Se ha correlacionado con la parte no feldespática del Grupo Juan Griego de la isla de Margarita, debido a su litología y grado de metamorfismo. Las rocas de esta formación representan una sedimentación terrígena derivada del Escudo de Guayana, la cual fue afectada por un metamorfismo regional mesozoico tardío, correspondiente a la facies de anfibolita epidótica.</p>

*La información presentada en la tabla ha sido tomada de Alvarado (2005)

4.4.2. Terreno El Copey (TEC).

Zona central aunque no se encuentra en la zona de estudio del presente trabajo, según Mujica (2017) representa posiblemente a un terreno alóctono. Está formado por una franja angosta de rumbo aproximado N75E, que se encuentra limitada al N por la falla de Salazar, y al S por la falla de Laguna Grande.

Dicho Terreno se compone de las siguientes unidades litológicas:

2.1. Metavolcanosedimentarias de El Maguey (K2m) (Cretácico Tardío).

2.2. Metavolcanosedimentarias de Laguna Chica (K2lc) (Cretácico Tardío).

Estas unidades representan la cobertura de la Ofiolita de El Copey.

Ofiolita de El Copey (K2ec) (Cretácico Tardío): presenta las subunidades: Metavolcánicas (K2ecv), Metagabro (K2ecg), y Serpentinita (K2ecs).

4.4.3. Terreno Carúpano-Tunapui (TCT). Zona centro-oriental

De igual manera no se encuentra descrita en la geología local de la zona de trabajo, Mujica (2017) lo caracteriza como una secuencia de esquistos carbonáticos cuarzomicaáceos con intercalaciones de esquistos filíticos cuarzomicaáceos y desarrollo de lentes delgadas de mármol negro, localmente actinolítico. Schubert (1972) restringe el nombre a la secuencia de filita carbonática grafitosa, capas lenticulares de mármol, esquistos cuarzomicaáceos grafitosos carbonáticos y filita clorítica y grafitosa. Chevalier (1987) la describe como un componente de la serie de cobertura del substrato metaofiolítico de Araya y la asocia a un importante volcanismo *in situ*. Constituye posiblemente un terreno autóctono-para-autóctono, este Terreno se encuentra al S de la falla de Laguna Grande.

- El presente terreno está formado por las siguientes unidades litológicas: Esquisto de Carúpano (K2c) (Cretácico Tardío): presenta dos subunidades: Mármol (K2cm), y Olistolitos de Serpentina (Kcsp).
- Esquisto de Tunapui (K1t) (Cretácico Temprano).
- Esquisto de Tunapui (K1t) (Cretácico Temprano)

En la tabla 8 se encuentra de manera resumida sus características geológicas.

Tabla 8. Características de la Formación Carúpano según diferentes autores

Localidad tipo y descripción litológica	Extensión geográfica y espesor	Contactos	Fósiles y edad	Correlación y paleoambiente
<p>ZAMBRANO (1967) nombra como sección de referencia los afloramientos a lo largo de la carretera Carúpano-Río Caribe. SEIJAS (1972) suma los afloramientos en el Morro de Puerto Santo, la ensenada de Puipui y las cercanías de Guaca. Litológicamente está conformada por esquistos carbonáticos grafitosos de color grisáceo a negruzco y color de meteorización rojizo; y filita micácea de color verde y color de meteorización rojizo. En conjunto conforman más del 80% de la Formación (SEIJAS 1972). El 20% restante lo conforman mármol, vetas delgadas de calcita y escasas vetas de cuarzo. Se describen a su vez, cuerpos de serpentinita dentro de la unidad, que han sido llamados olistolitos de serpentinita (CAMPOS 1981)</p>	<p>Aflora extensamente en la península de Araya, en los Distritos Rivero, Bermúdez y Arismendi en el estado Sucre. SEIJAS (1972) nombra afloramientos a lo largo de la costa, desde Chacopata hasta Carúpano. No obstante, explica que la misma se extiende hasta San Juan de las Galdonas y San Juan de Unare, más al este. Debido a la ausencia de una sección completa y de capas guías, además de la intensa deformación, sólo ha sido posible estimar un espesor de 750 m (SEIJAS <i>op. cit.</i>).</p>	<p>La Formación suprayace concordantemente a la Formación Tunapui, con un contacto normal en casi toda su extensión y localmente de falla hacia el este (SEIJAS 1972). CHEVALIER (1987) propone el contacto de falla entre éstas, hacia el noreste de Los Cachicatos. El contacto superior con la Formación El Copey es normal y en muchos sitios transicional según SIFONTES & SEIJAS (1972). Sin embargo, VIGNALI (1979) opina que dicho contacto es abrupto, sin ningún tipo de transición lateral. CAMPOS (1981) indica el contacto por corrimiento entre éstas, separando sus Series Ofiolítica y Carúpano Norte. VIGNALI (1979) expresa a su vez, que el contacto con la Formación Laguna Chica, al oeste, es de falla (falla de Laguna Grande).</p>	<p>SEIJAS (1972) indica que no se encontraron fósiles en ningún afloramiento. SCHUBERT (1972) al suponer una probable correlación con la Formación Las Mercedes (también en CHRISTENSEN 1961) le asigna una edad Cretácico Temprano. GONZÁLEZ DE JUANA <i>et al.</i> (1980) le asigna una edad Barremiense-Aptiense.</p>	<p>Ha sido correlacionada con la Formación Las Mercedes (CHRISTENSEN 1961; SCHUBERT 1972), el Miembro Yacua de la Formación Cariaquito y la Formación Grande Rivière de Trinidad (SEIJAS 1972). Este autor propone un protolito sedimentario para esta unidad, formado en condiciones transgresivas, de aguas profundas y posiblemente en un ambiente reductor, gracias a la presencia de grafito y piritita. Explica que posteriormente debió haber un período de regresión (hacia el este de Carúpano). SCHUBERT (1972) indica que los protolitos fueron marga y lutita carbonática intercaladas con caliza y arenisca, hacia la parte superior. Las rocas metavolcánicas representan rocas espiliticas metamorfozadas. El conjunto mineralógico que exhiben las rocas corresponde a la subfacies cuarzo-albita-muscovita-clorita de la facies de los esquistos verdes (VIGNALI 1979).</p>

La información presentada en la tabla ha sido tomada de Alvarado (2005)

4.4.2. Terrenos sedimentarios

Comprende a los terrenos sedimentarios cuaternarios y neógeno-cuaternarios presentes en la península de Araya se encuentra en zonas de topografía media a costera. Comprende cuatro hojas a escala 1:25.000 de la zona de estudio. En cuanto a su extensión, el dominio abarca toda la Hoja 7347-IV-NE Pta. Araya, en donde se presentan en un 95% aproximadamente, unidades neógenas o cuaternarias sin nombre formal. Su litología está representada por grupos litorales de albúferas, cordones o flechas, playas antiguas asociadas a antiguas líneas de costa, así como piedemontes, mediante rampas de explayamiento.

El 5% de la Hoja Pta. Araya se encuentra representada por una topografía media, como el Cerro Redondo y otros al N, y el Cerro Guaranache al S, donde afloran formaciones neógenas y cuaternarias, como Barrigón (Pleistoceno temprano) y Cubagua-Miembro Cerro Negro (Plioceno).

A su vez, al S de la península de Araya, Hoja 7347-IV-SE Araya, afloran en un 85% unidades sedimentarias neógenas y cuaternarias, que entran en contacto geológico entre sí. Estas se encuentran en el centro y S de la hoja, en donde destacan la Formación Cubagua con sus dos miembros: Cerro Negro (Plioceno) y Cerro Verde (Mioceno Tardío-Plioceno), y las formaciones más jóvenes: Barrigón y Castillo de Araya (Pleistoceno tardío). El resto de los afloramientos, en la zona N, corresponden a la cobertura sedimentaria cuaternaria sin nombre formal, tal como: litoral y pie de monte, albúferas y rampas de explayamiento que llegan hasta la costa. A su vez, en la Hoja 7347-I-NO El Rincón se presentan formaciones cuaternarias en el centro, NO y SO de esta hoja. El 80% de esta cobertura sedimentaria está representada por unidades cuaternarias no formales, dentro de las que se encuentran litorales de albúferas, piedemontes con rampas de explayamiento, y valles coluvio-aluviales.

Por su parte, hacia el O de la hoja, cercano a la Laguna Madre, se destacan los afloramientos de rocas sedimentarias de los cerros Guaranache y El Macho, los cuales

presentan una forma alargada, en sentido N80E. Donde aflora el Miembro Cerro Negro, Miembro Cerro Verde respectivamente, ambos de la Formación Cubagua. Estos afloramientos presentan un contacto de falla entre sí.

En la Hoja 7347-I-SO Manicuare, este dominio sedimentario se presenta en gran parte del O de la misma, en donde la Formación Coche se encuentra en contacto con Cuaternario con los dos miembros de la Formación Cubagua, y con otras unidades de la cobertura sedimentaria, como rampas de explayamiento. El miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua aflora en esta zona con mayor porcentaje que el Miembro Cerro Verde.

4.4.2.1. Subdominio o terreno sedimentario. Zona norte-central

Está representado por el extremo centro-norte de la península de Araya (no ubicado en la zona de estudio para este trabajo), Mujica (2017) expresa que la topografía sobrepasa la línea de costa E-O que define al resto de la geografía de la península. Este dominio abarca dos hojas a escala 1:25.000 de la zona de estudio. La Hoja 7448-III-SE Chacopata es la que conforma principalmente a este dominio, y en esta afloran unidades sedimentarias cuaternarias sin nombre formal. Al N de esta Hoja, entre Chacopata y el Morro de Chacopata, se destacan por su gran extensión rampas de explayamiento de piedemonte. Alrededor de estas rampas, se presentan otros depósitos, como dunas, cordones o flechas litorales y albúferas, todo ello en las cercanías a la costa, o a la Laguna de Chacopata. Tanto al S de la Hoja Chacopata como en el N de la Hoja 7447-IV-NE Guayacan, se encuentran otras rampas de explayamiento y sedimentos sin diferenciar, que entran en contacto con cuaternario con unidades del dominio metamórfico.

4.4.2.2. Subdominio o terreno sedimentario. Zona oriental

Está conformado por unidades sedimentarias cuaternarias no ubicadas en la zona de estudio, Mujica (2017) menciona que abarcan tres hojas a escala 1:25.000, en

el SE de la Hoja 7447-IV-SE Los Cachicatos, estas unidades sedimentarias afloran en la costa E del golfo de Cariaco. Entre estas unidades se encuentra la Formación Coche, que aparece en contacto con cuaternario con unidades de otros dominios metamórficos, como el Esquisto de Carúpano y El Esquisto de Tunapui. En el centro-sur de la Hoja 7447-I-SO Ariota afloran unidades sedimentarias cuaternarias, representadas al O por la Formación Coche y al E por la Formación Chiguana. Estas formaciones están en contacto geológico con el Esquisto de Tunapui, del Terreno Carúpano-Tunapui, existen valles aluviales y coluvio-aluviales en los drenajes de la región, así como albúferas, rampas de explayamiento y otros sedimentos marinos y continentales.

En el centro y S de la Hoja 7447-I-SE Campoma, afloran principalmente sedimentos de la cobertura cuaternaria sedimentaria sin nombre formal, tales como: planicies de desbordamiento y llanuras fluvio-marinas en ambiente semiaéreo o semiacuático.

4.4.3. Unidades Sedimentarias

4.4.3.1. Unidades sedimentarias formales

En la Tabla 9 se muestran las unidades litológicas sedimentarias con denominación formal, encontradas en la zona de estudio de la península de Araya. Las siglas allí indicadas se emplearán en el presente trabajo.

Tabla 9. Unidades sedimentarias formales de la península de Araya.**(Tomado de Mujica 2017)**

Unidad Sedimentaria	Edad Geológica	Siglas
1. Formación Coche	Pleistoceno	Q1co
2. Formación Chiguana	Pleistoceno temprano	q1q2ch
3. Formación Barrigón	Pleistoceno temprano	q1q2b
4. Formación Castillo de Araya	Pleistoceno tardío (ABUAHZI <i>et al.</i> 2004)	q4CA
5. Formación Cubagua	(Plioceno - Mioceno tardío)	n5N2c
5.1 Miembro Cerro Negro	Plioceno	N2cn
5.2. Miembro Cerro Verde	Plioceno -Mioceno tardío	n5N7cv

Formación Cubagua (Mioceno tardío-Plioceno)

Vignali (1965), en su estudio sobre el Mioceno de Araya subdivide la Formación Cubagua en dos miembros: Cerro Verde y Cerro Negro en sentido ascendente, basándose en caracteres litoestratigráficos bien definidos.

Según en Léxico Estratigráfico de Venezuela 1998, la ubican en la parte oeste de la península de Araya, isla de Cubagua, parte oeste de la península de Araya e isla de Margarita, En el área costa afuera, al norte de la península de Paria, está presente en todos los pozos perforados. La parte superior de esta unidad está constituida por bancos de moluscos y briozoarios, calizas arrecifales sacaroideas, areniscas cuarzosas grises, de grano fino, areniscas calcáreas, calizas micríticas grises, calcarenitas, caliza bioclástica interestratificada con lutitas gris oliva masivas y laminares, arcillas y limolitas. Hacia la parte inferior la formación cambia transicionalmente a una litología consistente de lutitas grises, acompañadas de limolitas grises y se presentan algunos intervalos arenosos interdigitados con clastos más finos. Ocasionalmente

aparecen cláustos más gruesos de composición metamórfica y volcánica.

Campos (1991) estudia los sedimentos de la Formación Cubagua en la Isla de Cubagua, y observa que no aflora el Miembro Cerro Verde, por lo que propone cambiar su localidad tipo a la península de Araya, donde afloran ambos miembros y sus respectivos contactos.

Padrón, Martinell y Domenech (1992), plantean un miembro inferior de arcilitas grises de 160 m de espesor, no calcáreas y con yeso secundario abundante; presenta aumento del tamaño de grano hacia el intervalo superior donde se encuentran areniscas cementadas ocasionalmente con yeso, la sección tiene un espesor de 33 m. Esta secuencia arcilítica ha sido asignada a Miembro Cerro Verde. Dicho miembro carbonático está cubierto por 19 m compuesto por calizas estratificadas, abundantes moluscos, material siliciclástico, fragmentos bioclásticos, algas rojas y conglomerados de matriz calcárea que se encuentran al tope de la secuencia. Este intervalo superior calcáreo se ha asignado al Miembro de Cerro Negro y el intervalo inferior arenoso, es considerado la fase transicional de un miembro a otro.

Las características generales de la formación se muestran en la tabla 10.

Miembro Cerro Verde (Formación Cubagua). (Plioceno)

Este término fue propuesto por Vignali (1965), para designar el miembro inferior de la Formación Cubagua, aflorante en el extremo oeste de la península de Araya. Suprayace discordantemente a rocas metamórficas de la Formación Manicuaire, e infrayace transicionalmente al Miembro Cerro Negro.

Está caracterizada por arcilitas, no calcáreas, con colores que varían de marrón claro a oscuro, tonalidades grises y marrón oscuro, abundantes las vetas de yeso secundario con un patrón de distribución reticular; presenta aumento del tamaño de grano hacia el intervalo superior donde se encuentran arenisca cementadas ocasionalmente con yeso.

Miembro Cerro Negro (Formación Cubagua). (Plioceno)

Corresponde al miembro superior de la Formación Cubagua descrito por Vignali (1965), con localidad tipo en Cerro Negro, hacia la parte occidental de la península de Araya. El mismo autor describe una marga arenosa basal de 2 metros de espesor, color crema, fosilífera con *Ostrea haitensis* y *Ostrea crassissima*, seguida por intercalaciones de areniscas limosas delgadas poco coherentes y margas fosilíferas, que gradan a calizas margosas al ascender en la sección. El miembro es concordante y transicional en su base con el Miembro Cerro Verde. Padrón, Martinell y Domenech (1992), indican que el Miembro Cerro Negro representa una asociación nerítica clara.

Está caracterizada por arenisca de grano fino de color marrón claro y con alto grado de meteorización, con presencia de nódulos de calcita, y carbonatos de mezcla; calizas de aloquímicos arenosas, micrita arenosas y areniscas micríticas de color ocre oscuro, friables.

Tabla 10. Características generales de la Formación Cubagua

Localidad tipo y descripción litológica	Extensión geográfica y espesor	Contactos	Fósiles y edad	Correlación y paleoambiente
<p>Rivero Nadal (1956) define como sección tipo el Cañón de las Calderas en la isla de Cubagua. Castro & Mederos (1985) nombran como sección de referencia, el pozo Río Caribe-1, costa afuera al norte de la península de Paria, línea sísmica 78, punto de tiro número 520 y de coordenadas geográficas 10°56'36,8" de latitud norte y 62°22'06,6" de longitud oeste.</p> <p>La parte superior (Miembro Cerro Negro) está conformada por bancos de moluscos y briozoarios, caliza arrecifal sacaroidea, arenisca cuarzosa gris, de grano fino, arenisca calcárea, caliza micrítica gris, calcarenita, caliza bioclástica interestratificada con lutitas gris oliva masiva y laminar con glauconita, arcilla y limolita grises. En la parte inferior (Miembro Cerro Verde) la litología es de lutita gris, con glauconita y nódulos de piritita, con limolita gris e intervalos arenosos interdigitados con clásticos más finos. En los clásticos más gruesos pueden existir componentes metamórficos y volcánicos.</p> <p>Fernández (2004) definió tres unidades estratigráficas en las secciones cerro El Macho y cerro Guaranache: unidad de arcilita, unidad de arcilita-arenisca y unidad de arenisca carbonática y caliza.</p>	<p>Se encuentra aflorando en la isla de Cubagua, parte occidental de la península de Araya e isla de Margarita.</p> <p>También en el área costa afuera al norte de la península de Paria.</p> <p>Se calcula 70 m de espesor en la sección tipo, mientras que en la sección tipo adicional la formación tiene 2.066 m de espesor.</p>	<p>La unidad infrayace a la Formación Cumaná o Barrigón en contacto aparentemente concordante. Bermúdez (1966) alega un hiatus paleontológico entre éstas. Suprayace a la Formación Tres Puntas en contacto aparentemente concordante en algunos pozos. En Araya, se encuentra discordante sobre las rocas que conforman la parte inferior de la Formación Manicuare. En Paraguachoa, con discordancia angular sobre los Grupos Punta Carnero y Los Robles.</p>	<p>Abundantes foraminíferos, tanto planctónicos como bentónicos: <i>Globorotalia margaritae</i>, <i>Globorotalia plesiotumida</i>, <i>Sphaeroidinellopsis paenedehiscens</i>, <i>Ammonia beccarii</i>, <i>Amphistegina lessonii</i>, <i>Hanzawaia sp.</i>, etc. Hacia la parte superior se encuentra abundancia en nanoflora calcárea, en algunos casos muy recristalizada. Fernández (2004) encuentra <i>Cyclamina cancellata</i>, <i>Sphaeroidina bulloides</i>, <i>Chilostomella ovoidea</i>, <i>Rectuvigerina lamellata</i>, <i>Globocassidulina subglobosa</i>, <i>Bulimina marginata</i>, <i>Hanzawaia concentrica</i>, <i>Elphidium poeyanum</i>, <i>Buliminella elegantissima</i>, <i>Amphistegina lessonii</i> y <i>Fursenkoina pontoni</i>.</p> <p>La edad asignada es Mioceno Tardío a Plioceno Tardío y para Fernández (2004) Mioceno Tardío a Pleistoceno.</p>	<p>Bermúdez (1966) la correlacionó en su parte superior con las Formaciones Guatire, Cumaca y Aramina; la parte inferior la correlacionó con las Formaciones Las Pailas y Carenero. En la isla de Trinidad con las Formaciones Springvale y la parte superior de la Formación Manzanilla. MACSOTAY <i>et al.</i> (1995) la correlacionan con las Formaciones La Tejita, La Guica, Araya y Aramina.</p> <p>La parte superior se sedimentó en aguas someras de mar abierto y detrás de arrecifes y bancos de moluscos y briozoarios. El ambiente de sedimentación es nerítico interior a medio de plataforma abierta, pasando transicionalmente a batial.</p>

* La información presentada en la tabla ha sido tomada de Alvarado (2005).

Formación Chiguana (Pleistoceno temprano)

Según Macsotay & Caraballo (1976), la formación se divide en dos miembros: el miembro inferior, que está compuesto por una ritmita, formada por 71% de material arcilloso, 27% de limos y 1.9% de arenas. Esta ritmita arcillo-limosa es de color gris claro a intermedio, con inclusiones yesíferas y jarosíticas, que meteorizan en color amarillo rojizo y rojo violáceo oscuro. El miembro presenta estructuras sedimentarias tales como: laminación paralela, fallas de crecimiento, de desplome y deslizamientos de gravedad. El miembro superior se denomina Miembro Las Varas, y está constituido por capas métricas de arena cuarzosa a calcárea, limolítica y conglomerática localmente, intercalada con arcilla arenosa y con capas delgadas de yeso en forma local. Hacia el tope la sección, presenta arenas cuarzosas, con lentes de cantos y guijarros de ftanita y cuarzo, micáceas localmente, con cemento carbonático, y con estratificación cruzada. En la zona O, el miembro aparece más carbonático. Además, las intercalaciones de arcilla arenosa aumentan de espesor, y presentan colores con meteorización violeta y rojo oscuro, con altos niveles de yeso.

Formación Barrigón (Pleistoceno temprano)

El nombre fue asignado por Vignali (1964) para los sedimentos Pleistocenos suprayacentes a la Formación Cubagua en Araya occidental.

La sección tipo está ubicada en el curso superior de quebrada El Tanque, en el extremo noroccidental del cerro Barrigón, en la parte occidental de la península de Araya. Esta unidad se compone de base a tope, de una caliza arenosa amarilla con abundantes ejemplares de *Lyropecten arnoldi*, de 2 m de espesor, seguido de una intercalación de margas terrosas, calizas arenosas y limos arenosos-calcáreas de 11 m de espesor (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1998). Está caracterizada por una secuencia sedimentaria, compuesta principalmente por carbonatos de mezcla (calizas de aloquímicos) y carbonatos puros (packstone wackstones de algas rojas y bivalvos). En la Península de Araya se presenta en estratos con poca inclinación lo cual le da

una morfología amesetada.

Estévez (2007) la define como 5 metros de calizas arenosas con abundantes fragmentos de conchas de *Lyropecten arnoldi*. Estas calizas arenosas fosilíferas son interpretadas como depósitos de tormenta debido a la distribución poco uniforme de sus conchas, lo fragmentadas que se encuentran y la ausencia de fósiles en posición de vida. Luego de la depositación de esta unidad, las condiciones fueron favorables para la generación de ambientes someras de aguas claras con presencia de algas rojas que generaron calizas masivas de 8 metros de espesor con abundante cuarzos tamaño guijarros al tope. Las características generales de la formación se muestran en la siguiente tabla 11.

Tabla 11. Características generales de la Formación Barrigón

Localidad tipo y descripción litológica	Extensión geográfica y espesor	Contactos	Fósiles y edad	Correlación y paleoambiente
<p>La localidad tipo es el curso superior de la quebrada El Tanque, en el extremo noroccidental del cerro Barrigón, al oeste de la península de Araya.</p> <p>En la sección tipo la unidad está conformada por, de base a tope: una caliza arenosa amarilla seguida de una intercalación de marga terrosa, caliza arenosa y limos arenoso-calcareos. El tope presenta una arenisca muy fina, sobre la que se encuentra un conglomerado marino de cantos de cuarzo metamórfico cementados por material calcáreo y restos de conchas, es ésta la principal diferencia con la Formación Cumaná.</p>	<p>Se encuentra aflorando en la parte occidental de la península de Araya. El espesor es de 28 m en su sección tipo, más de 40 m en el cerro La Cantera y 6 m en el cerro Guamache. Bermúdez (1966) calcula un espesor aproximado de 45 m en la localidad tipo.</p>	<p>Para Vignali (1964) el contacto inferior es aparentemente concordante con el Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua. Bermúdez (1966) propone un posible hiatus entre ambas. Se halla cubierta por un caliche reciente. En Cubagua está en contacto erosional con las Formaciones El Manglillo y Tortuga.</p>	<p>Vignali (1964) y Macsotay (1965) reportan una fauna oligomítica de bivalvos: <i>Lyropecten arnoldi</i>, <i>Ostrea vespertina venezolana</i> y <i>Spondylus americanus</i>.</p> <p>Fue considerada como de edad Plioceno por Bermúdez (1966), la presencia conjunta entre <i>Lyropecten Arnoldi</i>, <i>Turritela maiquetiana</i> y <i>T. aff. Planigyrate</i> la adjudica actualmente al Pleistoceno Temprano.</p>	<p>La Formación está correlacionada con las Formaciones Cerro Gato, en la isla de la Tortuga, y Caigüiré en Cumaná. Bermúdez (1966) correlaciona además con la Formación Playa Grande del Grupo Cabo Blanco de la zona central del país.</p> <p>Esta formación se depositó en aguas marinas someras, de alta energía y con rápida acumulación de sedimentos en un ciclo regresivo.</p>

La información presentada en la tabla ha sido tomada de Alvarado (2005)

Formación Coche. (Pleistoceno). (ABUAZHI *et al* 2004).

La Formación Coche es la única formación sedimentaria continental de la zona de estudio, consta de abanicos aluviales tipo fan-delta, depositados durante el Pleistoceno Tardío, al mismo tiempo de la depositación de la Formación Tortuga. Consta de intercalaciones de conglomerados, areniscas y limolitas que afloran hacia la parte central de la zona de estudio hacia la carretera Manicuare y Araya.

En Léxico Estratigráfico de Venezuela (1998), indicaron los afloramientos de la isla de Coche como localidad tipo. Vivas y otros (1989), designaron a los acantilados a 2 km al norte de Punta Negra, en la costa oriental de la isla como sección tipo. Litológicamente constituida por partes aproximadamente iguales de arcilítas, areniscas y conglomerados tipo pudinga, mal escogidos.

Bermúdez (1966) le asigna una edad Mioceno Medio, al correlacionarla con conglomerados basales, descritos en Vignali (1964), infrayacentes a la Formación Cubagua en la zona de estudio. Macsotay (1976) también expresan que la Formación Coche en su localidad tipo en la isla de Coche, descansa discordantemente sobre rocas metamórficas semejantes a las de la Formación Manicuare.

La formación está constituida por partes, aproximadamente iguales, de arcilítas, areniscas y conglomerados mal escogidos. Las arcilítas son grisáceas, meteorizando en tonos abigarrados, generalmente arenosas y contienen fragmentos de rocas metamórficas, siendo localmente carbonáticas. Las areniscas son de grano fino a grueso, con cemento arcilloso de colore gris y marrón, meteorizando en rojizo. Los conglomerados se componen de guijarros, peñas y peñones subangulares a subredondeados en los que predominan rocas metamórficas, cuarzo. Ambas litologías son típicamente ferruginosas meteorizando a colores rojizos. Las características generales de la formación se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Características generales de la Formación Coche

Localidad tipo y Descripción litológica	Extensión geográfica y espesor	Contactos	Fósiles y edad	Correlación y paleoambiente
Como localidad tipo se han nombrado los diversos afloramientos en la isla de Coche. Vivas et al. (1989) nombran como sección tipo, los acantilados a 1 km al norte de Punta Negra en esa isla. Como sección de referencia, Padrón & Estévez (1997) nombran una al NE de la quebrada Lavandera en Araya Occidenta, Está constituida por conglomerado (tipo pudinga) de cuarzo lechoso, y menos frecuentemente de fragmentos de rocas metamórficas La matriz es arenosa-ferruginosa. Contiene también arcilla gris o azul arenosa con guijarros de diversas rocas y cuarzo, localmente carbonosa. La arenisca es de grano fino a grueso, con cemento arcilloso y colores de meteorización, amarillo y rojo. Macsotay & Caraballo (1976) acotan que estas arcillas y arenas son lenticulares e irregulares, con niveles ocasionales de concreciones calcáreas.	Patrick (1959) indica afloramientos en la isla de Coche, Paraguachoa, Macanao, Araya occidental y Chacopata. Macsotay & Caraballo (1976) describen afloramientos en las cercanías de chiguana y campoma, araya oriental. El espesor es de 60 m aproximadamente. En la sección tipo, el espesor es de 21 m. Macsotay & Caraballo (1976)	El contacto inferior es discordante con el complejo metamórfico de Piedra Negra. En Macanao y Araya también es discordante sobre rocas metamórficas. No se han descrito contactos superiores, a excepción de Vivas <i>et al.</i> (1989) que encuentran en Macanao un contacto con terrazas marinas. Macsotay & Caraballo (1976) explican que el contacto entre ésta y la Formación Chiguana es abrupto. Hacia el oeste de la falla de Cachipo el contacto es transicional con el Miembro Las Varas de la Formación Chiguana y yace discordantemente sobre la Formación Tunapui.	No se han hallado fósiles en la unidad, con relaciones de campo se le asigna una edad Pleistoceno tardío por su correlación con la Formación Tortuga (ABUAHZI <i>et al.</i> 2004)	Bermúdez (1966) sugirió su posible correlación con el conglomerado basal de la Formación Cubagua en la península de Araya, pero ésta es dudosa, ya que esta unidad corresponde al Mio-Plioceno (CEVT 1970). Es correlacionable con la sección descrita por GRAF (1972) en la península de Macanao, que el autor correlaciona a su vez con la Formación Cubagua y González de Juana <i>al.</i> (1980) indican que probablemente pertenezca a los ciclos glaciales e interglaciales del Pleistoceno. Padrón & Estévez (1997) y Abuahzi <i>et al.</i> 2004 la correlacionan con la Formación Tortuga. La Formación Coche se acumuló en un ambiente continental (Patrick 1959) durante un solo evento de sedimentación, por procesos fluvio-torrencales en presencia de un clima tropical desértico.

* La información presentada en la tabla ha sido tomada Alvarado (2005).

Formación Castillo de Araya (Pleistoceno tardío) (ABUAZHI et al. 2004)

Alvarado (2005) menciona que Bermúdez (1966) nombra dos terrazas de edades diferentes citadas anteriormente por Vignali (1964) y Macsotay (1965): “Terrazas del Castillo de Araya” y “Terrazas de Araya”, las primeras de edad Plioceno Tardío y las segundas de edad Pleistoceno. Según los autores, su diferenciación se basa además en la menor elevación sobre el nivel del mar de la segunda y su contenido faunal. Sin embargo, Bermúdez (1966) acota que a criterio de Francés Charlton de Rivero la edad de las “Terrazas del Castillo de Araya” pudiese ser Pleistoceno y que algunas especies de moluscos pudieran haber sido redepositadas. Las características generales de la formación se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Características generales de la Formación Castillo de Araya

Localidad tipo y descripción litológica	Extensión geográfica y espesor	Contactos	Fósiles y edad	Correlación y paleoambiente
<p>La localidad tipo se encuentra ubicada en la quebrada El Tanque, a 650 m al sur del Castillo de Santiago de Araya. Consiste de una coquina con abundancia de material bioclástico de algas calcáreas y moluscos. En la localidad tipo se compone de dos secciones: una inferior consistente de una calcarenita cuarzosa y limosa de color blanco amarillento y generalmente bien compactada, con fragmentos de algas calcáreas, briozoarios y conchas. La sección superior consta de una coquina conglomerática de color blanco crema caracterizada por algas calcáreas ramosas e incrustantes, conchas de moluscos enteras y fragmentadas y pequeñas colonias de corales <i>Siderastrea radians</i> hacia el tope. Localmente, contiene fragmentos (tamaño grava a peña) de calizas, marlitas, cuarzo redondeado y algunos ejemplares de pelecipodos fósiles de la Formación Barrigón. En la base posee un conglomerado marino, lenticular y frecuentemente galerías tipo <i>Domicnia</i>.</p>	<p>Aflora en la parte más occidental de la península de Araya, así como también se han indicado posibles afloramientos submarinos en la isla de Coche y la península de Chacopata (Macsotay & Moore 1974). Como Formación Tortuga, Padrón (1992) la extiende hasta Punta Arenas y Punta La Caja, al sur. La Formación varía de tener 1,8 a 2 m de espesor en la localidad tipo, a alcanzar 3 m en el área tipo al sur del Castillo de Araya, dependiendo de las irregularidades de la paleosuperficie donde se sedimentó.</p>	<p>En la parte occidental de la península de Araya y en Cubagua, se encuentra en discordancia angular sobre sedimentos tectonizados de la Formación Cubagua (Bermúdez 1966). González de Juana et al. (1980) señala que se encuentra sobre la Formación Cumaná (Formación Barrigón en este trabajo)</p>	<p>En su parte inferior hay abundancia de pelecipodos perforadores: <i>Atrina</i>, <i>Pirna</i>, <i>Macrocallista</i>, en matriz de algas calcáreas fragmentadas con un metro de espesor. La parte media, está dominada por gasterópodos: <i>Hemitoma</i> cf. <i>Octoradiata</i>, <i>Crucibulum auricula</i>, <i>Olivella venezuelana</i>, <i>Vasum pufferi</i>, <i>Oliva shepmani</i>, <i>Turritella maiquetiana</i>; y los pelecipodos: <i>Trachycardium muricatum</i> y <i>Chione riomaturensis</i>. Además, fragmentos de briozoarios, algas calcáreas y el coral <i>Oculina</i> cf. <i>valenciensesi</i>. La parte superior contiene mayoritariamente el pelecipodo <i>Chione cancellata</i> y colonias del coral <i>Siderastrea siderea</i>. Para Vignali (1964) y Macsotay (1965) la edad es Plioceno tardío, en base a los moluscos contentivos. Bermúdez (1966) propone una edad Pleistocena, según criterio de Francés Charton de Rivero, quien adjudica la edad propuesta por los autores anteriores a fósiles del Plioceno redepósitos de la Formación Barrigón. Padrón (1992) y Zapata et al. (1999) la considera de edad Holoceno. Abuhazi et al. (2004) le asignan una edad Pleistoceno Tardío, por estudios de radio-carbono a los fósiles que contiene.</p>	<p>Se correlaciona con la Formación El Manglillo de la isla de Margarita (Macsotay et al. 1995). La edad radiométrica permite correlacionarla con el Miembro Punta de Piedras de la Formación Tortuga, el Miembro Falucho de la Formación La Blanquilla, las Formaciones La Orchila, Gran Roque e Isla de Aves. Terrazas similares, aún sin describir, de menor elevación se encuentran en el morro de Chacopata y en las islas de Coche y Cubagua (González de Juana et al. 1980).</p> <p>El paleoambiente es marino muy somero, con energía de oleaje moderada, permitiendo el desarrollo de bancos calcáreos. En la línea de playa se desarrollaron facies de rocas de playa con incrustaciones de algas calcáreas (mayor energía en el oleaje). Por su parte Zapata et al. (1999) explican que los carbonatos de mezcla que constituyen la Formación, se crearon en una zona de marea baja, ambiente dominado por lodos terrigenos y de alta productividad orgánica. También hablan de un ambiente de marea baja a entre mareas, donde las algas coralíneas atrapan sedimento.</p>

La información presentada en la tabla ha sido tomada Alvarado (2005)

4.4.3.2 Unidades sedimentarias cuaternarias informales

Las unidades litológicas sedimentarias cuaternarias sin nombre formal, presentes en la zona de estudio, las cuales son descritas a partir de Danielo (1974) en Coplanarh. La nomenclatura de sigla, indicada para estas unidades, será utilizada en el presente trabajo se nombran en la tabla 14.

Tabla 14 Unidades sedimentarias cuaternarias sin nombre formal, presentes en la región de estudio. (Tomado de Mujica 2017).

Unidad sedimentaria cuaternaria sin nombre formal	Edad geológica	Sigla
Litoral. Albufera	Pleistoceno temprano	q1q2a
Litoral. Playa antigua	Pleistoceno temprano	q1q2p1
Piedemonte. Rampa de explayamiento	Pleistoceno temprano	q1q2r1
Piedemonte. Explayamiento	Pleistoceno medio	q3e2
Piedemonte. Rampa de explayamiento	Pleistoceno medio	q3r2
Litoral. Dunas	Pleistoceno medio-tardío	q3q4d
Litoral. Playa antigua	Pleistoceno medio-tardío	q3q4p2
Piedemonte. Rampa de explayamiento	Pleistoceno tardío	q4r3
Sedimentos marinos sin diferenciar	Pleistoceno tardío-Holoceno	q4Q2m
Litoral. Albufera	Holoceno	Q2a
Litoral. Cordón o flecha	Holoceno	Q2cf
Planicie de desbordamiento. Llanura fluvio-marina en ambiente semiaéreo o semiacuático	Holoceno	Q2lfm
Sedimentos marinos y continentales	Holoceno	Q2mc
Piedemonte. Valle aluvial	Cuaternario sin diferenciar	Qal
Piedemonte. Valle coluvio-aluvial	Cuaternario sin diferenciar	Qca
Piedemonte. Valle coluvial	Cuaternario sin diferenciar	Qc
Piedemonte. Explayamiento	Cuaternario sin diferenciar	Qe
Piedemonte. Rampa de explayamiento	Cuaternario sin diferenciar	Qr

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Geología local

Generalidades

Para conocer la presencia de arcilla en la Península de Araya fue necesario recorrer la zona de estudio y evaluar la geología presente por medio de la descripción de campo, para así poder conocer los depósitos presentes en la zona de estudio. Donde se realizó la toma de 24 muestras para su estudio.

A continuación se describe la geología de la zona por medio de sus formaciones encontradas en los afloramientos estudiados.

5.1.1 Formación Cubagua (Mioceno-Plioceno), para las muestras PA-1, PA-2, PA-3, PA-9, PA-20, PA-21

Es la unidad con mayor extensión de la zona de estudio, y está caracterizada por rocas sedimentarias, principalmente por areniscas y lutitas, con alto contenido paleontológico donde se destacan los moluscos y foraminíferos observados a simple vista y abundantes algas. Presenta estratos con poca inclinación lo cual le da una morfología amesetada. Se compone de 2 miembros:

Miembro Cerro Verde

Este término fue propuesto por Vignali (1965), para designar el miembro inferior de la Formación Cubagua, aflorante en el extremo oeste de la península de Araya. Suprayace discordantemente a rocas metamórficas de la Formación Manicuaire, e infrayace transicionalmente al Miembro Cerro Negro.

Se caracteriza por estar formado por secuencia de limolitas y lutitas, con

colores que varían de marrón claro a oscuros y tonalidades grises y marrón oscuros con abundantes vetas de yeso con una distribución reticular posterior a la formación de dichas rocas.

Miembro Cerro Negro

Este término designa el miembro superior de la Formación Cubagua descrito por Vignali (1965), con localidad tipo en Cerro Negro, hacia la parte occidental de la península de Araya.

En esta unidad fueron colectadas la muestra PA-1, ubicada vía Punta Arena punto de ubicación referenciado en la tabla 13, Lutita de color gris hacia la base (figura 25), el espesor no se pudo calcular ya que estaba debajo del nivel del suelo. Se tomó esta muestra para determinar la composición química y mineralógica para conocer su posible uso industrial además para correlacionar con otras muestras.



Figura 25 Muestra tomada en campo, Lutita gris claro. Dirección de la foto N11°W

Muestra PA-2

Tope del afloramiento de las muestras PA-1 y PA-3, en este punto observado se visualiza un cambio de energía muy avanzado de base a tope, se tomó muestra de

la primera capa caracterizada por un caliche para determinar su composición química, mineralógica y físicas ayudando esto a correlacionar otros puntos observados.

Muestra PA-3

Lutita de color amarillo hacia la superficie que va aclarando a profundidad llegando a ser de tono gris claro, con presencia de bioturbación, donde no se pudo tomar espesor de la capa por la presencia de muchos insectos. Pero se tomo muestra para la realización de los diferentes ensayos y análisis.

Muestra PA-9 y PA-10

En este punto de observación se caracteriza por estar representado de base a tope por lutitas de color pardo y azulados con presencia de oxidación compuesta por un alto contenido de moluscos, fragmentos bioclásticos y algas rojas, areniscas de grano fino de color amarillo pálido y con alto grado de meteorización, calizas arenosas, caliza color pardo meteorizada hacia el tope llegando a caliche “hard pan”, las capas presentan dirección N21°E6°N, se puede visualizar la secuencia estratigráfica en la figura 26.

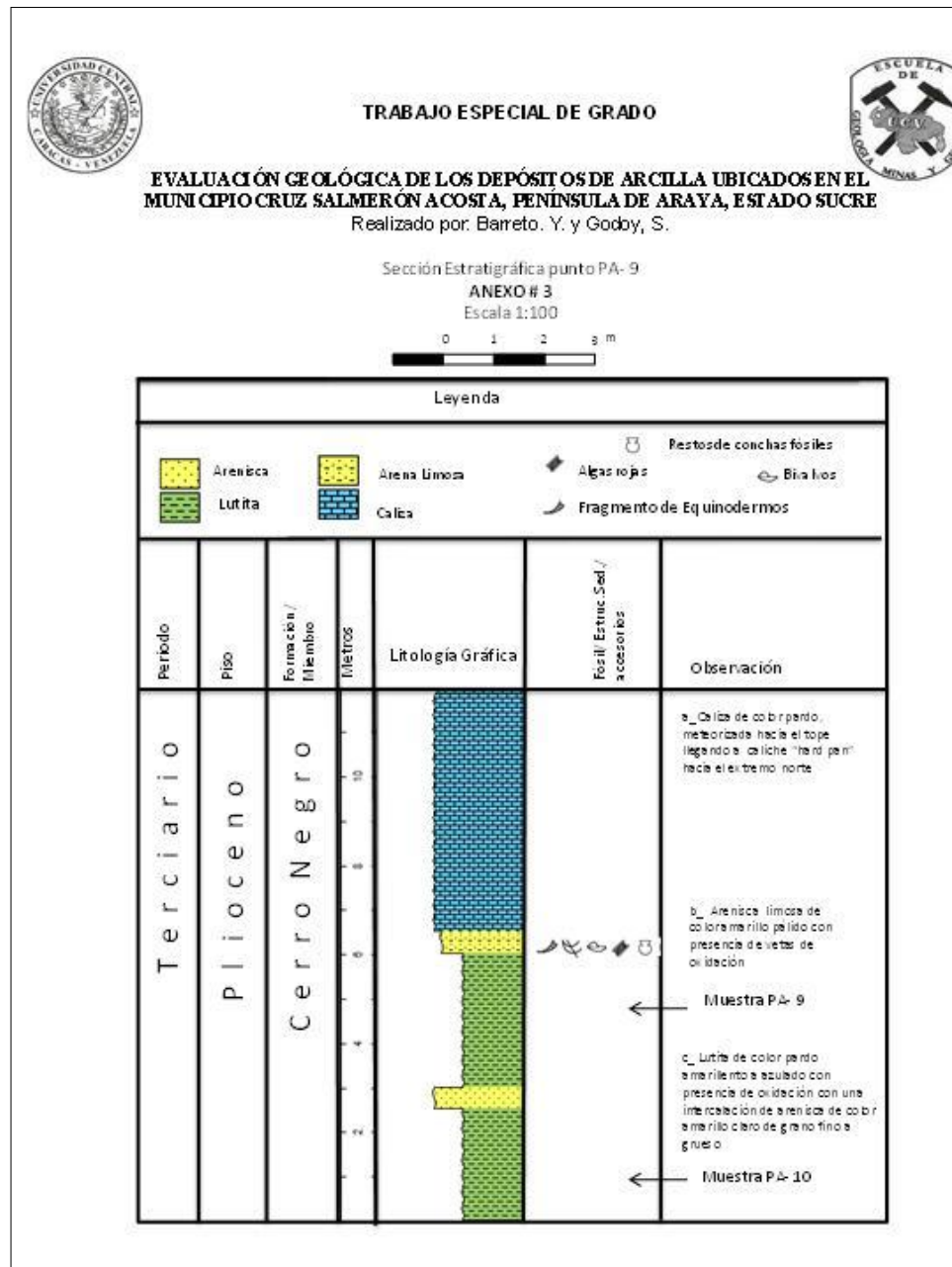


Figura 26. Sección estratigráfica del punto muestreado PA-9-

En la figura 27 se puede evidenciar el contacto entre las dos formaciones presentes en la zona de estudio.



Figura 27. Contacto discordante de la Fm. Tortuga y Miembro Cerro Verde de la Fm. Cubagua. Dirección de la fotografía: N75°W Muestra PA-9 PA-10. Playa la Paria

La Formación Cubagua con sus miembros está representada en diversos lugares dentro de la zona de estudio, en el presente trabajo se estudiaron 4 secciones estratigráficas de dicha formación, en la figura 28 se muestra la ubicación de los cerros estudiados para dicha sección estratigráfica

Estas secciones están ubicadas: al norte en los cerros El Macho y Guaranache, al oeste en cerro Barrigón y al sur en el cerro el Pariche.

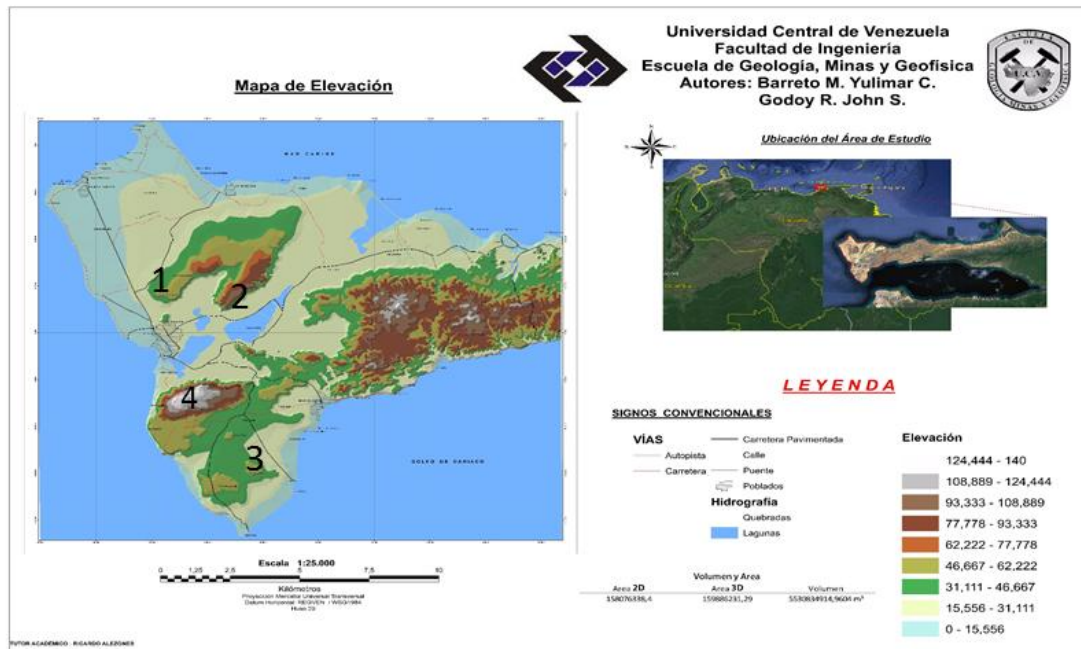


Figura 28. Ubicación de los cerros en estudio. (1 Cerro Guaranache, 2 Cerro Macho, 3 Cerro Pariche, 4 Cerro Barrigón)

Cerro Guaranache

La sección estratigráfica de cerro Guaranache desde la base hasta el tope está compuesta por 2 niveles, uno de lutitas, el cual pasa transicionalmente a un nivel superior compuesto por areniscas calcáreas con niveles de limolitas y caliche o “hard Pan” hacia el tope de la sección.

Muestra PA-20



Figura 29. Diferencia del nivel de la Formación Cubagua, Miembro Cerro Verde. Dirección N60°W

En la figura 29 se puede visualizar la influencia de la morfología del relieve además de las formaciones presente en el afloramiento el cual está compuesto de lutitas color amarillo casi marrón pardo de 6.10 m de espesor de lutitas no calcáreas a simple vista no se observaron restos fósiles. Esta litología se asocia al, Miembro Cerro Verde de la Formación Cubagua y hacia la base una arenisca de color rojizo de grado creciente aproximadamente de 2.5 m de espesor de color meteorizado amarillo a pardo, friable, de grano fino, con presencia de fragmentos de bivalvos y equinodermos, moldes internos y externos de bivalvos y gasterópodos en estas areniscas se encuentran niveles de calizas arenosas, de color meteorizado marrón, color fresco pardo, de 1.50 m de espesor, competente, se observan a simple vista abundantes fragmentos de bivalvos y equinodermos medianamente preservados.

Hacia el tope se evidencia un nivel calcáreo de 0.50 m de espesor, de color crema a blanco, muy competente, correspondiente al nivel superior de caliche “Hard Pan” que se asocia al Miembro cerro Negro de la Formación Cubagua.

Cerro El Macho Muestra PA-21

Llamado también por los lugareños Monte Oscuro se puede identificar que está constituida en su parte inferior por lutitas de color meteorizado marrón oscuro y color fresco marrón grisáceo abigarradas con presencia de vetas de yeso precipitado posterior a la formación hacia el tope, litología se asocia al Miembro Cerro Verde de la Formación Cubagua.

El nivel medio está constituida por una intercalación de 8,80 m de arenisca calcárea de grano fino y lutita de color pardo a tonos azulados de 0,5 m de espesor, en las areniscas se observa óxido de hierro, fragmentos y moldes internos y externos de bivalvos y gasterópodos, equinodermos y algas rojas. Esta litología se asocia a la Formación Cubagua, Miembro Cerro Negro.

El nivel superior proviene de un contacto abrupto con el nivel medio, toda la

secuencia está representado por una arenisca color meteorizado marrón claro, color fresco pardo de 2 m de espesor, con un nivel de calizas arenosa de 1,50 m de espesor, con un tope meteorizado a caliche (“Hard Pan”) de 30 cms observó a simple vista restos fósiles. Esta litología se asocia a la Formación Barrigón.

Cerro Pariche PA-18, PA-19

También denominado Indismo (figura 31), está compuesta por 2 niveles, un nivel basal arenisca, el cual pasa abruptamente a un nivel superior compuesto por areniscas calcáreas con niveles de “coquinas”, lutitas.

El nivel inferior está conformado por un espesor de 3.90 m de lutitas calcáreas, color meteorizado morado en diferentes tonalidades, bandeamientos rojizos y tonalidades de grises, color fresco marrón grisáceo, la sección se caracteriza al tope por su alto contenido de meteorización química (laminaciones de diferentes tonalidades de rojo y morado), el contacto inferior no puede observarse, mientras que el contacto con el nivel superior es abrupto.

El nivel superior, está en contacto abrupto marcado por una capa de coquina compuesta por fragmentos de ostreas, color meteorizado ocre, color fresco crema, de espesor 0.80 m, el tamaño promedio de las ostreas es de 30-35 cm de largo, presentan alto grado de preservación debido a su naturaleza calcítica. Suprayacente a esta se encuentran areniscas calcáreas, de grano fino a medio friable, color meteorizado marrón con laminaciones rojizas, color fresco marrón claro, con niveles de fragmentos de ostreas, icnofósiles como *Ophiomorpha* sp. Muy meteorizadas de 10 cm de longitud y 15 cm de diámetro (figura 32), de color meteorizado marrón rojizo y color fresco marrón. La sección estratigráfica del cerro Pariche se ha asignado al Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua. A continuación se muestra una pequeña sección de unos de los puntos observados en la toma de muestra figura 30.

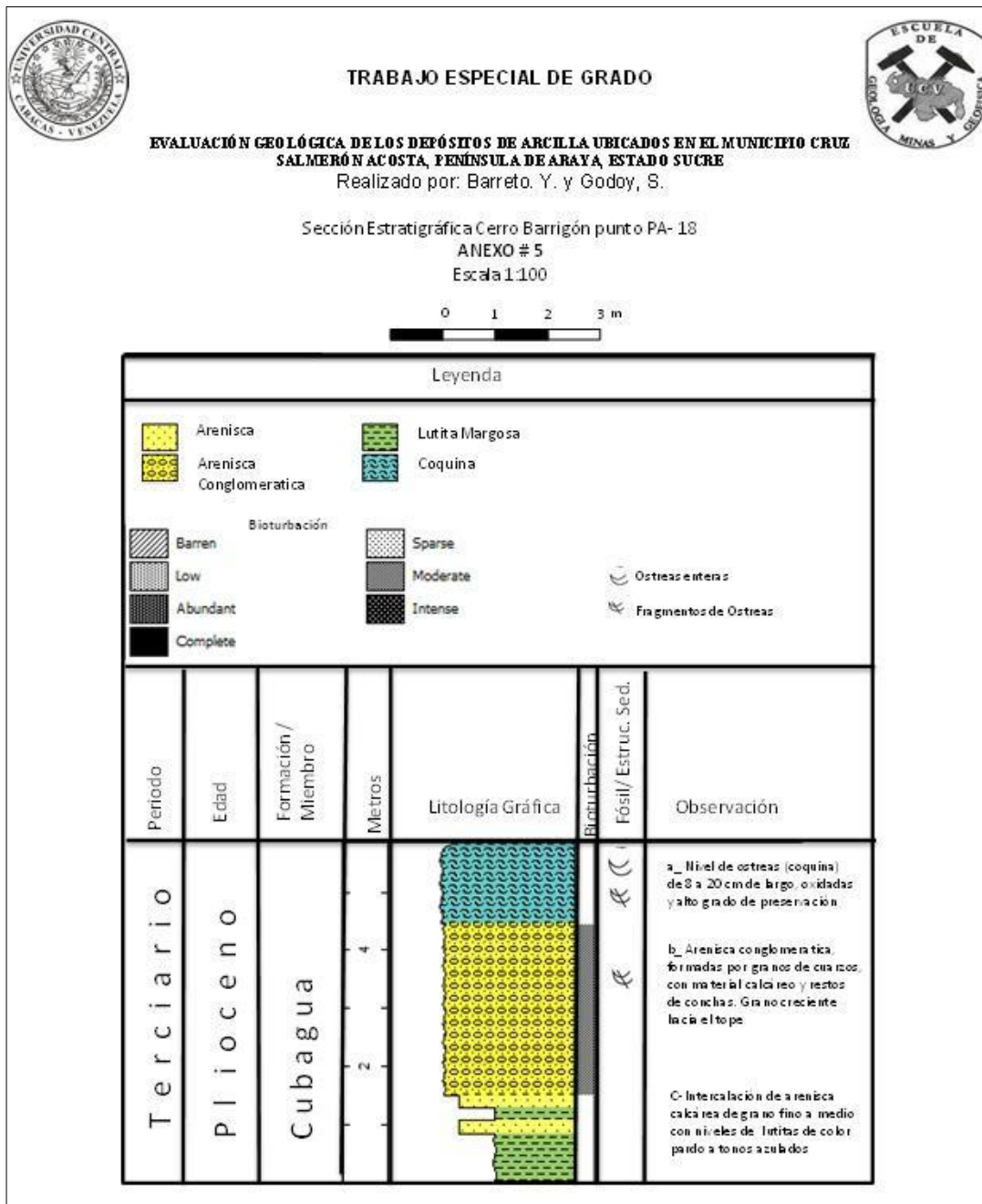


Figura 30. Sección estratigráfica del punto muestreado PA-18



Figura 31. Vista panorámica de Cerro Pariche



Figura 32. Detalle de las ostras (coquina)

El Cerro Pariche se encuentra ubicado al sur de la parte occidental de la península de Araya. Se observa el relieve amesetado y el drenaje generando cárcavas al pie de las elevaciones.

Formación Barrigón

A esta unidad comprenden las muestras **PA-4, PA-5, PA-6, PA-7, PA-8, PA-11, PA-12, PA-13, PA-14, PA-15, PA-16, PA-22, PA-23 y PA-24**

Aflora hacia el oeste de la zona de estudio, teniendo su sección mejor expuesta hacia el tope del cerro Barrigón. Está caracterizada por una secuencia sedimentaria, compuesta principalmente por calizas con algas rojas y bivalvos de 5 m

de espesor respectivamente, muy competentes, de color meteorizado amarillo, color fresco pardo, conformada por fragmentos de bivalvos, equinodermos y algas roja. El contacto inferior es transicional con rocas del Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua.

Suprayacente a las anteriores se encuentran calizas de grano medio, friable, con fragmentos de moluscos y gasterópodos, con 1.80 m de espesor. El tope está caracterizado por un nivel de 25 cm de espesor de meteorización. Se presenta en estratos con poca inclinación lo cual le da una morfología amesetada. Con buzamiento entre 3° a 8° aproximadamente; para el punto de observación y PA-6 se obtuvieron y $N45^{\circ}E3S$ respectivamente.

Cerro Barrigón se encuentra limitando por el norte por la falla Tacarigua (ENE-WSW), probablemente sinistral (Beltrán y Giraldo, 1989). Los mismos autores describen a la falla de Laguna Grande (ENE.WSW) como sinistral, la cual limita a cerro Barrigón por el sur.

Muestra PA-4



Figura 33 Afloramiento observado vía Manicuare a Araya. Muestra PA-4, dirección de la foto $N15^{\circ}W$

De dicho afloramiento (figura 33), se extrajo material para la realización de la carretera y está caracterizado de base a tope por una secuencia de 4.98 m compuesta de la siguiente manera, 0.8 m de lutita marrón pardo, 0.50 m de arenisca con fragmento de roca grano granocreciente al tope, posterior a este se encuentra una lutita de color gris de espesor 1.65 m bien compacta y hacia el tope una arenisca conglomerática de color rojizo de tamaño que van desde milímetros a centímetros como se puede visualizar en la columna estratigráfica de este punto observado figura 34.

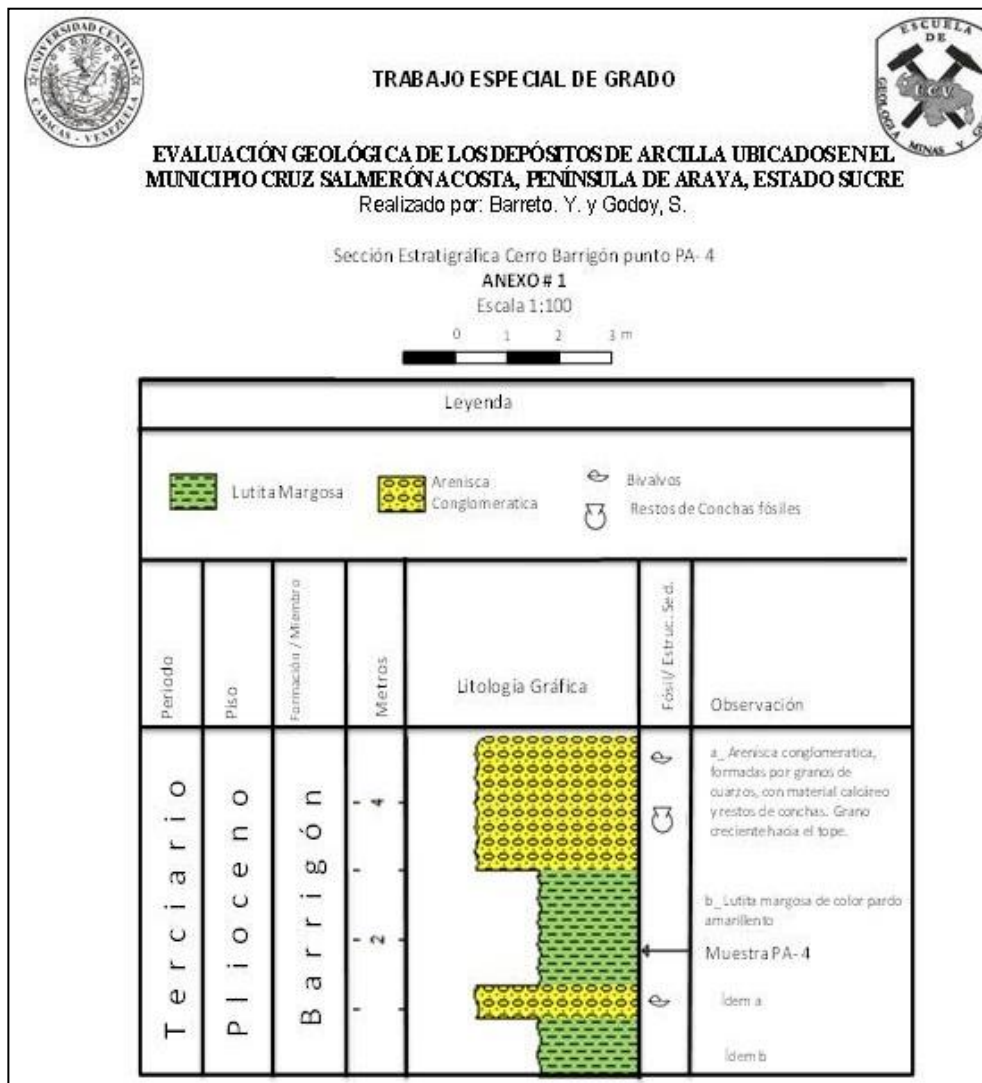


Figura 34. Sección estratigráfica del punto de muestra PA-4

Muestra PA-5

En este punto se encuentra el contacto entre la unidad metasedimentaria entre las Formaciones Manicuaire y Barrigón (figura 35), donde lo sedimentario esta caracterizado por lutitas gris, con mucha presencia de oxido de hierro de 1.3 m de espesor seguidos de de arenisca de color amarillo, en este punto se tomo muestra para los análisis y ensayos de caracterización

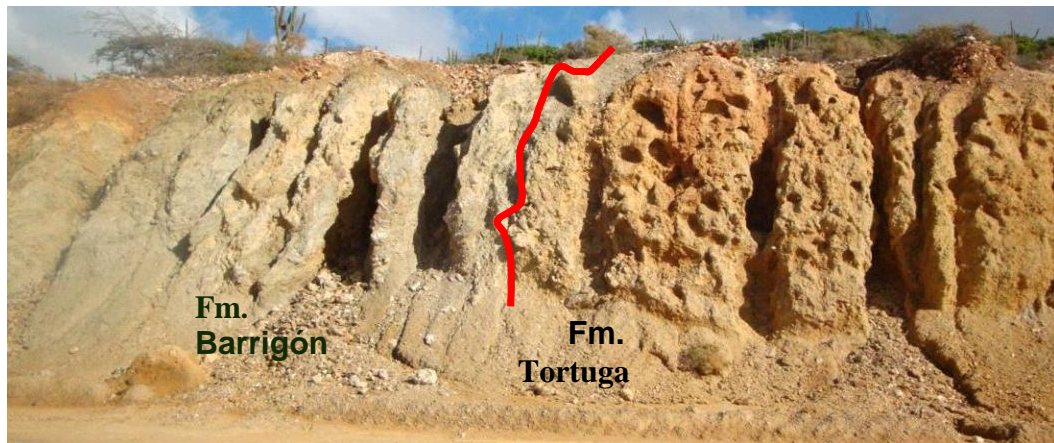


Figura 35 Contacto entre la Formación Barrigón y Formación Manicuaire

Muestras PA-6, PA-7 y PA-8

Afloramiento ubicado frente a la salina madre (figura 37), de aquí se tomaron muestras para los primeros bloques, está constituido de base a tope por una secuencia de 12.0 m en total dividido en 4.0 m de lutita color marrón pardo, arenisca conglomerática de 0.5 m, 3.5 m de arenisca de color gris con presencia de yeso precipitado y hacia el tope 4.0 m de arenisca conglomerática con presencia de material leñoso proveniente de la vegetación (retama) como se muestra en la sección estratigráfica a continuación figura 36. Los estratos tienen dirección N45°E3°S.

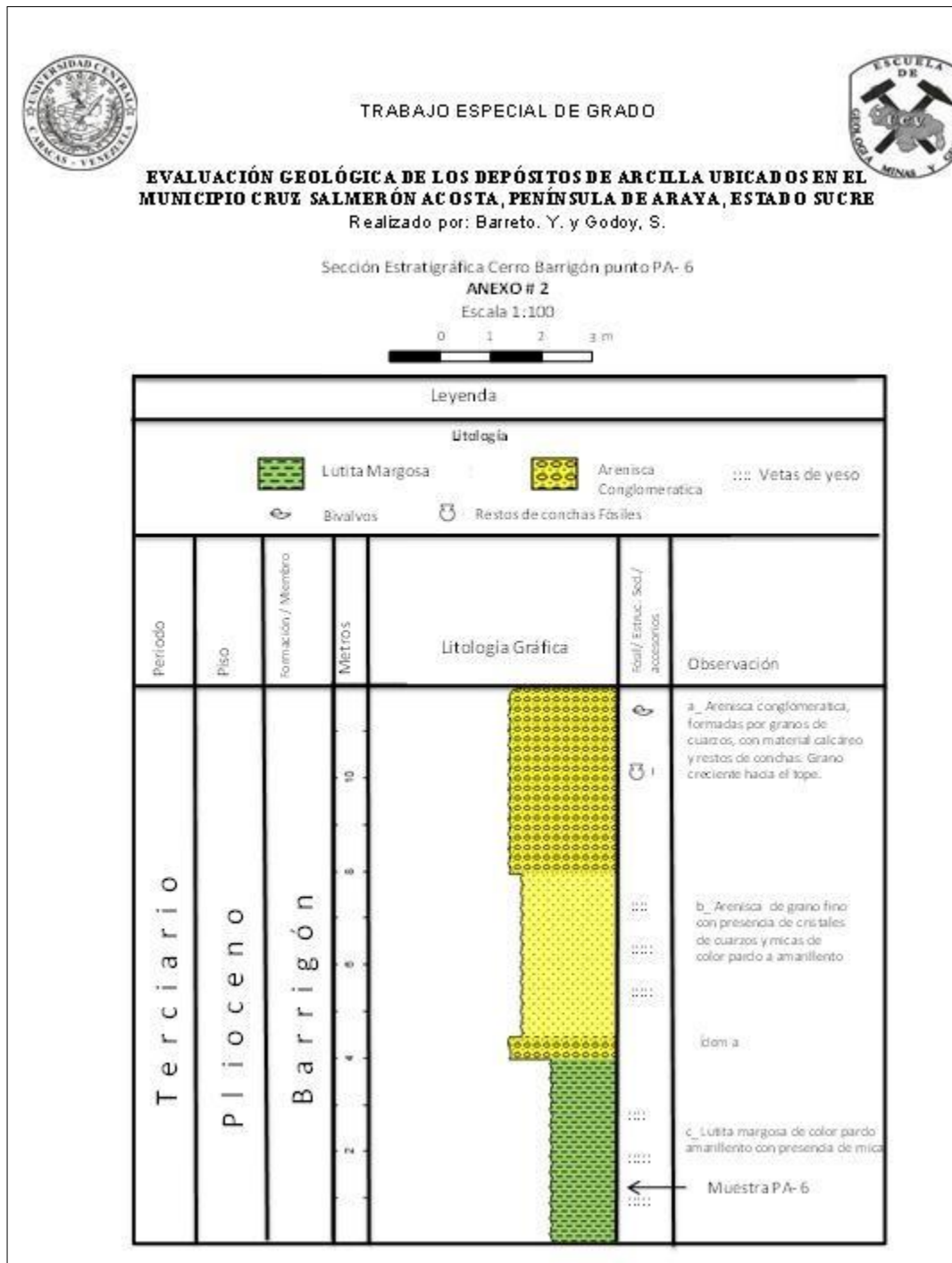


Figura 36. Sección estratigráfica del punto de muestra PA- 6.



Figura 37. Formación Barrigón Parte trasera del cerro frente a la salina madre.

Dirección de la foto N35°W

Muestras PA-11 a PA-16

Afloramiento identificado como zona 1 en el mapa de área (anexo 1) de aproximadamente 1 kilómetro ubicado en la carretera Araya - El Rincón (figura 39), donde los depósitos van aumentando de E-W llegando a tener 11.7 m de alto, donde las arcillas se encuentran depositadas desde el nivel del suelo con espesor de 8.9 m seguido hacia el tope 2.8 m de un material suelto de color blanco (Caliche disgregado) con la presencia de pequeños nódulos de hierro como se puede visualizar en la sección estratigráfica de la figura 38.

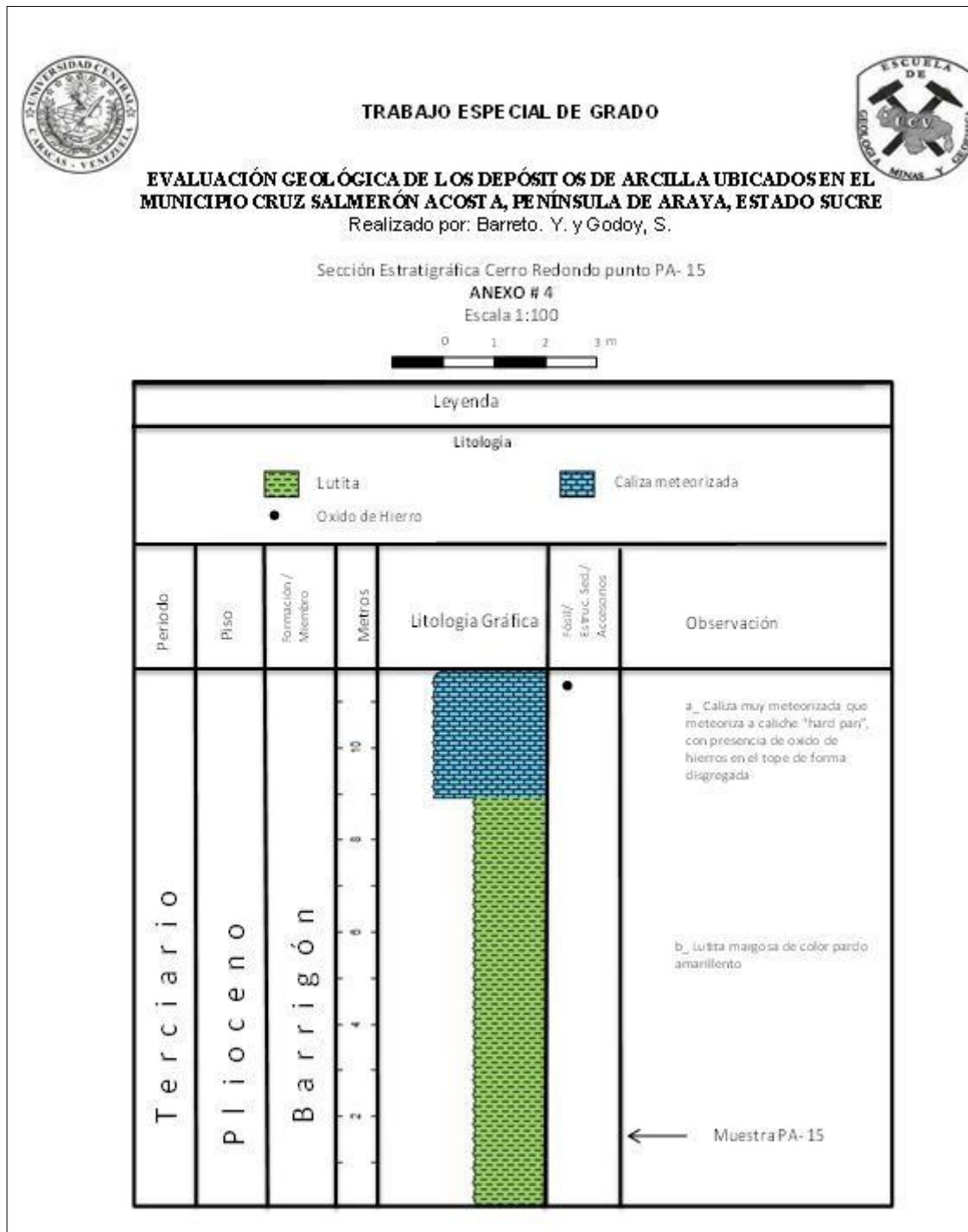


Figura 38. Sección estratigráfica del punto muestreado PA-15.



Figura 39. Muestra del afloramiento PA-16. Vía el Rincón. Dirección de la foto N80°E

Muestra PA-17

Muestra tomada donde está ubicada la bloquera en el sector Punta Arena compuesta por arenisca y lutita de color rojo de grano fino a medio (figura 40). De aquí se tomó muestra para los ensayos físicos y análisis químicos ya que con este material han hechos los bloques de prueba.



Figura 40. Material ubicado en la bloquera muestra PA-17

Muestras PA-22, PA-23 y PA-24

Afloramiento ubicado llegando al sector de Manicuare exactamente el último corte de carretera que se visualiza antes de entrar al pueblo con dicho nombre, está caracterizado por una intercalación de arenisca y lutitas de color rojizo y gris respectivamente con presencia de yeso en forma de beta formados después de la deposición de las capas, como se muestra en la columna a continuación figura 41, de 10.5 m de espesor los estratos tienen dirección promedio de N82°W4°S. En dicho punto observado se tomaron tres muestras para realizar los análisis químicos y físicos

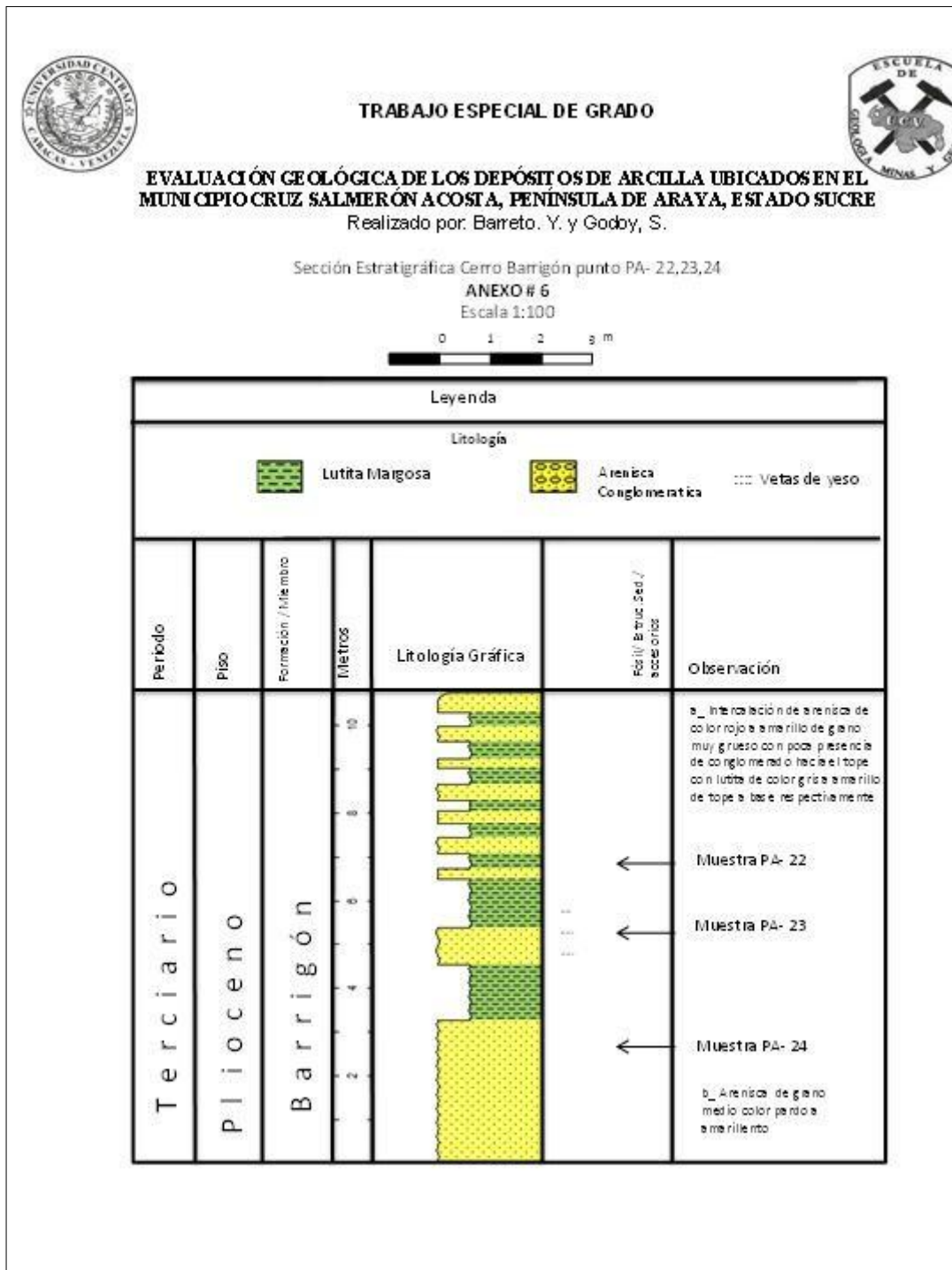


Figura 41. Columna estratigráfica del corte de carretera Manicuare.

Formación Tortuga

Es la unidad sedimentaria de menor extensión de la zona de estudio, se

distribuye en terrazas localizadas hacia el oeste y sur de la zona occidental de la península de Araya como se muestra en la figura 43 y al oeste de la laguna madre (figura 44).

Estévez (2007), describe 8 metros de sedimentos marino- somero con una marcada discordancia sobre las lutitas del Miembro Cerro Verde. La sección basal está caracterizada por 3,5 m de areniscas calcáreas color ocre, oxidadas y parcialmente bioturbadas por estructuras asociadas a la icnofacies. El tope calcáreo meteorizado denominado “Caliche”

Litológicamente está constituida por material bioclástico de algas calcáreas, fragmentos de moluscos y gasterópodos. Hacia la base está caracterizado por areniscas y lutitas de color blanco amarillento y bien compacto, con fragmentos de algas calcáreas, y fragmentos de conchas. La sección superior está formada por caliza arenosa de color blanco a pardo caracterizada por algas, conchas de moluscos enteras y fragmentadas.

EL nivel inferior está constituido por 4,0 m de espesor de areniscas de grano fino friables color marrón que va gradando hacia el tope a areniscas más compactas. El contacto inferior del nivel basal es discordante con las lutitas del Miembro Cerro Verde hacia la zona de la salina, en la zona del castillo no se observa dicho contacto. El contacto entre el nivel basal y el nivel superior es abrupto. La sección superior está constituida por calizas arenosas de 1.80 m de espesor, de color meteorizado grisáceo y fresco pardo grisáceo.

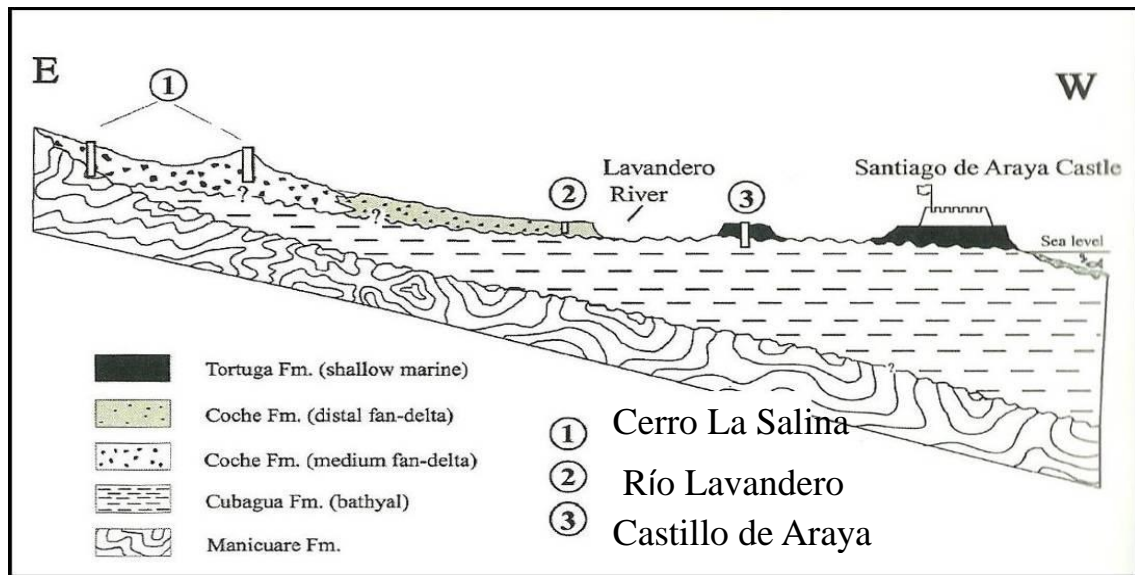


Figura 42. Diagrama esquemático de la aparición de la Formación Coche y la Formación Tortuga. Tomado de Estévez 2007

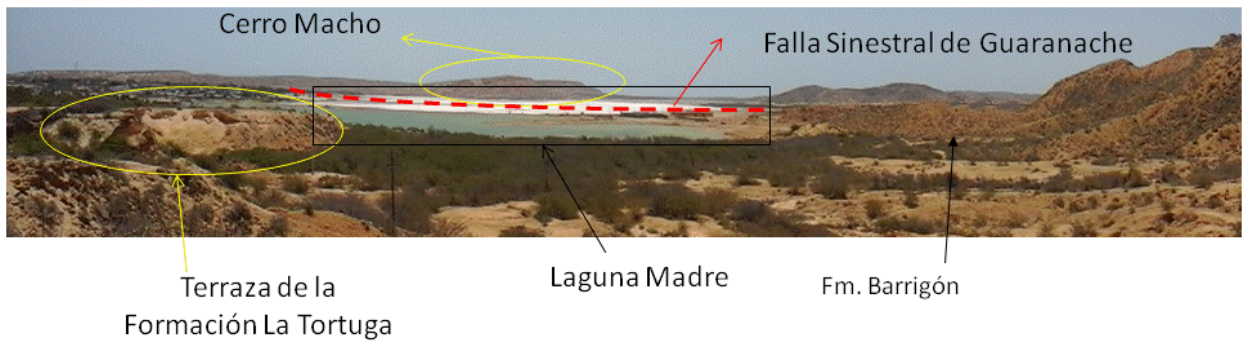


Figura 43 Vista panorámica de los alrededores de la laguna madre.



Figura 44 Secuencias (a, b) correspondientes a la Formación Tortuga en paraconformidad con el Miembro Cerro Verde de la Formación Cubagua.

Según Corrales (1977) La paraconformidad es una “dis paralelismo entre los materiales inferiores y superiores y la superficie es como un plano de estratificación, sin que sea necesaria las señales de sedimentos marinos. Esta configuración de los estratos puede interpretarse como un ambiente de barra de marea, característico de ambientes deltaicos como por ejemplo mostrado en la figura 44.

5.2 Ensayos de laboratorio

En la tabla 15 a continuación se indica los ensayos a realizar en el laboratorio y ubicación de las 24 muestras recolectadas en campo, para los ensayos de FRX y geotecnia se agrupo a un total de 12 muestras donde se tomó en cuenta la mineralogía presente en el ensayo de DRX.

Tabla 15. Ubicación y ensayos a realizaados en laboratorios

MUESTRAS	COORDENADAS UTM		ENSAYOS			ZONA DE INTERÉS
	NORTE	ESTE	DRX	FRX	GEOTÉCNICOS	
PA-1	364.366	1.162.738	X			
PA-2	364.366	1.162.738	X	X	X	2
PA-3	365.056	1.162.874	X			
PA-4	366.957	1.167.724	X	X	X	2
PA-5	370.508	1.167.338	X	X	X	2
PA-6	363.737	1.168.467	X			3
PA-7	362.165	1.168.148	X			
PA-8	362.735	1.167.759	X			3
PA-9	362.926	1.164.486	X	X	X	3
PA-10	362.926	1.164.486	X			
PA-11	361.498	1.176.257	X	X	X	1
PA-12	362.871	1.176.174	X			1
PA-13	362.782	1.176.183	X	X	X	1
PA-14	362.119	1.176.348	X			1
PA-15	361.724	1.176.194	X	X	X	1
PA-16	361.417	1.176.214	X			1
PA-17	364.362	1.162.742	X	X	X	2
PA-18	366.574	1.163.744	X	X	X	2
PA-19	366.669	1.163.773	X	X	X	2
PA-20	364.358	1.170.649	X	X	X	2
PA-21	362.691	1.171.398	X			
PA-22	362.696	1.171.392	X	X	X	2
PA-23	362.696	1.171.392	X			
PA-24	362.696	1.171.392	X			

Nota: zona 1 de mayor interés

5.2.1 Difracción de rayos X (DRX)

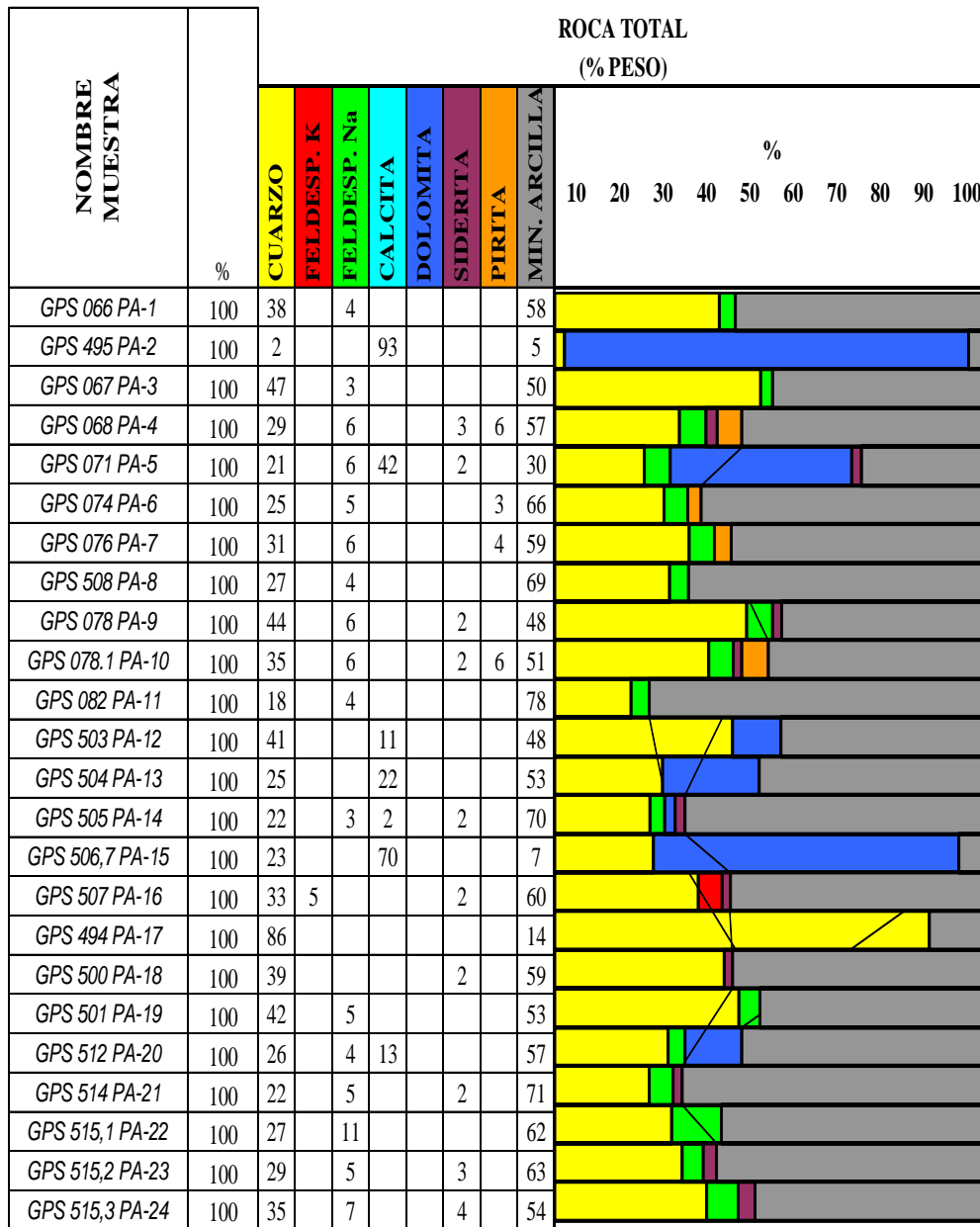
Se realizó el análisis de DRX de las 24 muestras mencionadas anteriormente con un difractor marca Philips, para caracterizarlas mineralógicamente, en el cual se obtuvo la información de la composición mineralógica. El porcentaje en minerales se realizó mediante una estimación de las fases minerales (%peso) llevado a cabo por un software que tomado como base los valores de intensidad, es capaz de realizar un

análisis semi-cuantitativo. Los detalles de los difractogramas, intensidades, comparación mineral, entre otros, se muestran en el apéndice.

5.2.1.1 Roca total

A continuación se presenta la tabla 16 en la que se muestra los resultados obtenidos de la difracción de rayos X, para la fracción mineralógica en roca total para las muestras tomadas en campo (los difractogramas se pueden visualizar en el apéndice 1).

Tabla 16. Resultados de roca toral en la DRX



Los resultados de la mineralogía arrojaron un total de siete variables mineralógicas:

1. Cuarzo.
2. Feldespato potásico.

3. Feldespato sódico.
4. Calcita.
5. Siderita.
6. Pirita.
7. Minerales de arcillas.

Cabe mencionar que las variables cuarzo 4,24Å y cuarzo 3,33Å, corresponden al mineral cuarzo analizado en ángulos 2θ distintos.

De manera general, la composición mineralógica de las rocas analizadas siguen la tendencia común en donde las tonalidades de las muestras presentan minerales de arcillas en su composición, para las cuales 22 muestras en el análisis de roca total indica que están compuesta de minerales de arcillas con 48% a 71%, seguido de una fracción importante de calcita (CaCO_3) y otras fracciones de cuarzo (SiO_2), feldespato de sodio junto a una concentración importante de pirita (FeS) y Siderita.

Sin embargo, para las muestras PA-2 y PA-15 presentan una concentración de arcilla baja con un porcentaje de 5% y 7% respectivamente al igual que la de cuarzo y demás minerales, debido a que la muestra PA-2 se ubicada en Punta de Arena corresponde un caliche “hand pan” situado en el nivel superior del afloramiento, mientras que la muestra PA-15 es de vía EL Rincón correspondiente al mismo caliche pero se encontraba disgregado como polvo perteneciente a la misma unidad.

La mayor concentración de minerales de arcillas corresponde a las muestras PA-11 a la PA-16 ubicadas en la zona 3 de estudio correspondiente a la Formación Barrigón, en el anexo 1 se puede visualizar la ubicación espacial de las muestra para esta sección.

Los análisis de rayos X también arrojaron como resultado la presencia de calcita. Este mineral no debe superar el 10% en peso en las pastas cerámicas y debe

estar triturado para su utilización. Esta clase de minerales ejercen una acción fundente muy energética en las pastas cerámicas rebajando la temperatura de cocción. Según Velasco (2005) el carbonato cálcico se descompone durante la cocción, a temperaturas por encima de los 850 °C, liberando anhídrido carbónico y formando óxido de calcio, según la reacción química:



El óxido de calcio resultante reaccionará, durante la cocción, con la sílice y la alúmina presentes formando silicatos y silicoaluminatos. Sin embargo, parte del óxido de calcio podría no reaccionar si se encuentra en partículas muy grandes o debido a falta de sílice libre en esa zona, aunque hay que destacar que un grano grueso de carbonato cálcico deja en el ladrillo un residuo de cal sin reaccionar, por simples razones cinéticas de las reacciones que tienen lugar a altas temperaturas y por la limitada superficie de reacción que ofrece dicho grano (Grande, 2005).

5.2.1.2 Análisis de la fracción de arcilla (menor a 2 micras)

Se realizó sobre las muestras nombradas anteriormente y los resultados son los siguientes

Tabla 17. Resultado de la fracción menor a 2 micras en la DRX

NOMBRE MUESTRA	PROPORCIONES RELATIVAS DE MINERALES DE ARCILLA EN FRACCIÓN <2 MICRAS							%				
	%	CAOLINITA	CLORITA	ILITA	ILITA/ESMEC.	CORRENSITA	CLORITA/SMECITTA		ESMECITTA			
		10	20	30	40	50	60		70	80	90	100
GPS 066 PA-1	100	45		20	35							
GPS 495 PA-2	100	69		25				6				
GPS 067 PA-3	100	51		46				3				
GPS 068 PA-4	100	7		77	8			8				
GPS 071 PA-5	100	15		12	73							
GPS 074 PA-6	100	30		29	21			20				
GPS 076 PA-7	100	66		1	33							
GPS 508 PA-8	100	53		23	24							
GPS 078 PA-9	100	64		33				3				
GPS 078.1 PA-10	100	46		52				2				
GPS 082 PA-11	100	79		17				4				
GPS 503 PA-12	100	59		38				3				
GPS 504 PA-13	100	60		38				2				
GPS 505 PA-14	100	64		33				3				
GPS 506,7 PA-15	100	72		24				4				
GPS 507 PA-16	100	68		30				2				
GPS 494 PA-17	100	66		34				Tz				
GPS 500 PA-18	100	51		46				3				
GPS 501 PA-19	100	55		42				3				
GPS 512 PA-20	100	53		23	24							
GPS 514 PA-21	100	67		30				3				
GPS 515,1 PA-22	100	49		49				2				
GPS 515,2 PA-23	100	56		41				3				
GPS 515,3 PA-24	100	40		48	10			2				

Los análisis arrojaron un total de cuatro componentes mineralógicos ordenados de mayor a menor proporción de arcilla se tiene Caolinita ($Al_2(Si_2O_5)(HO)_5$) con valores entre los 7,00% y 79,00% con promedio en muestra de 55,00%, siendo las muestras PA-11 a la PA-16 con la mayor cantidad de este con valores entre 79% y 68 % que se ubican en la zona 1 del mapa de ubicación del anexo

2, seguida por la Illita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$) con valores entre los 17,00% y 77,00% con promedio de 38,00% , donde la mayor proporción de este corresponde la muestra PA-4 con 77% ubicado en la Formación Barrigón de la zona 2 y Illita/ Esmectita con valores entre los 8,00% y 24,00% con promedio de 16,00%, encontrándose la mayor proporción la muestra PA-5 ubicadas en la vía de Manicuaire cerca del contacto meta sedimentario y por ultimo, Esmectita con valores entre los 2,00% y 8,00% con promedio de 4,00%.

La composición mineralógica de las muestras analizadas muestra una tendencia común. La totalidad de las ejemplares presentan minerales de arcilla (Caolinita, Illita, Illita – Esmectita y Esmectita) en su composición. Cabe destacar que para una mayor comprensión se detalla en la sección del apéndice 2 los difractogramas de cada muestra en los cuales se indica los resultados arrojados por el equipo de difracción de rayos X y en el anexo 2 se puede visualizar la ubicación espacial de las muestra.

5.2.1.3 Fluorescencia

Los resultados de fluorescencia se muestran la tabla 18. Para dicho ensayo se seleccionaron 12 muestras de las 24 recolectadas en campo, de las cuales se tomó en consideración los minerales de arcillas presentes en la DRX. En el anexo 3 se puede visualizar la ubicación espacial de las muestra.

En la figura 45 se puede visualizar que las muestras PA-4, PA-11 y PA-22 son las que tienen mayor cantidad de SiO_2 , siendo la PA-4 la muestra que posee mayor cantidad de Al_2O_3 , siendo estos los elementos principales para la fabricación de ladrillos.

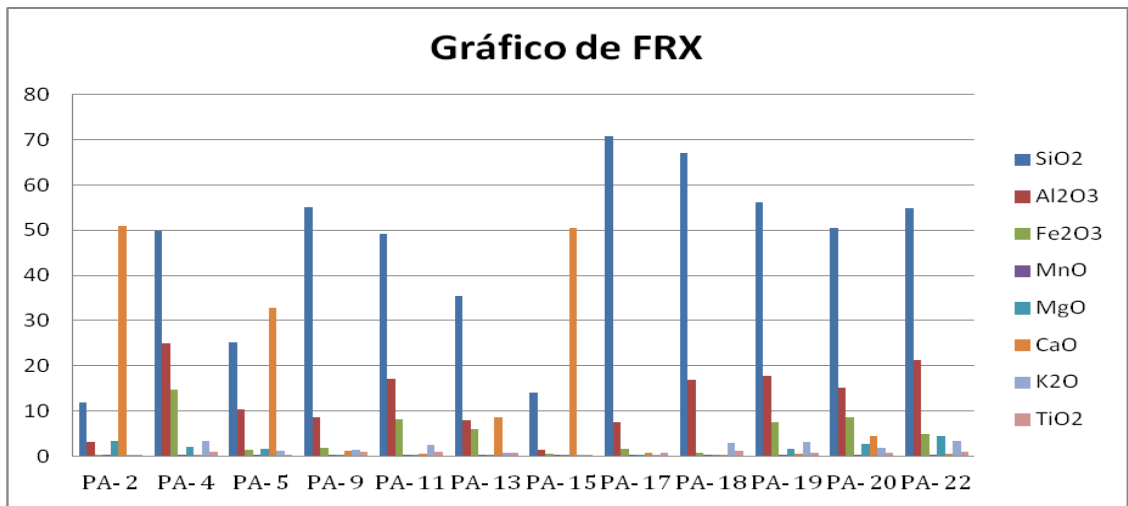


Figura 45. Gráfica de fluorescencia de rayos X

Tabla 18 Elementos detectados por fluorescencia de rayos x

Muestras	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	MgO %	CaO %	K ₂ O %	TiO ₂ %	Zona de interés
PA-2	11.79	3.11	0.14	0.01	3.47	50.97	0.25	0.06	2
PA-4	49.84	25.07	14.73	0.03	2.04	0.38	3.42	1.04	2
PA-5	25.21	10.43	1.45	0.17	1.53	32.77	1.28	0.41	2
PA-9	55.15	8.60	1.91	0.01	0.10	1.09	1.32	1.00	3
PA-11	49.10	17.08	8.23	0.03	0.10	0.59	2.41	1.06	1
PA-13	35.40	8.06	5.90	0.02	0.10	8.50	0.82	0.69	1
PA-15	14.01	1.36	0.60	0.01	0.10	50.39	0.40	0.10	1
PA-17	70.86	7.45	1.71	0.01	0.10	0.79	0.35	0.70	2
PA-18	67.12	16.85	0.71	0.01	0.10	0.41	3.00	1.15	2
PA-19	56.10	17.73	7.47	0.01	1.65	0.56	3.07	0.86	2
PA-20	50.57	15.13	8.53	0.02	2.73	4.55	1.87	0.83	2
PA-22	54.77	21.28	4.83	0.01	4.43	0.45	3.35	1.05	2

Los valores no suman 100% por la pérdida de CO_2 principalmente y otros elementos no detectables con esta técnica como Na_2O .

Los análisis químicos elementales de las 12 muestras preseleccionadas se presentan en la tabla 12 y en la figura 45 en forma de óxidos, una arcilla apta para la fabricación de cerámicos de construcción debe de tener un contenido de SiO_2 entre 50 y 60% de Al_2O_3 entre 20 y 30% según (Elías, 2001). Teniendo en cuenta este criterio las arcillas PA-2, PA-5, PA-9, PA-13, PA-15, no son los valores apropiados para la fabricación de cerámicos, éstos no alcanzan el nivel de sílice y alúmina especificadas. Las muestras PA-4, PA-11, y PA-22 son las más apropiadas para su uso en la industria ladrillera, tomando en cuenta la composición mostrada en la figura 28.

No se descartan las arcillas PA-18, PA-19 y PA-20 dado que su composición no se aleja mucho para el rango óptimo, además dichas arcillas pueden mezclarse con otras de tal manera que dicha mezcla arcillosa tenga la composición requerida y, si algunas de estas mezclas tuvieran mayor contenido de Al_2O_3 alrededor del 30%, estas se podrían usar para la fabricación de ladrillos, siempre y cuando dichas arcillas respondan positivamente a procesos de eliminación de impurezas como el de Fe y Ti, dado que los óxidos de estos metales bajan el punto de fusión. En tales procesos de beneficios, también se tendría que eliminar parte de sílice presente.

5.3 Ensayos geotécnicos

Tabla 19. Resultados de ensayos geotécnicos

MUESTRA	LL %	LP %	IP %	DETERMINACIÓN INDIRECTA DEL ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (∅)	DETERMINACIÓN INDIRECTA DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO SIMPLIFICADO DE CASAGRANDE		METODO SIMPLIFICADO DE EXPANSIVIDAD DAKSHANAMANTHY Y RAMAN (1973)	*ACTIVIDAD %	CLASIFICACIÓN S.U.C.S	HUMEDAD %	
					%LC	%IC					
PA - 2	NP									SM	2,07
PA - 4	41	11	30	28,50	8	33	Medio	1,28	CL	3,09	
PA - 5	23	13	10	33,00	11	12	Bajo	0,78	ML	2,97	
PA - 9	18	15,1	2,9	35,00	14	5	No plástico	0,26	CL-ML	4,24	
PA - 11	53	21	32	28,00	13	40	Medio-Alto	1,98	CH	9	
PA - 13	36	14	22	29,50	10	26	Bajo	5,95	CL	12,32	
PA - 15	19	15	4	34,70	14	5	No plástico- Bajo	1,11	CL-ML	2,52	
PA - 17	NP									SM	0,46
PA - 18	27	14	13	32,00	11	16	Bajo	0,65	CL	3,82	
PA - 19	32	16	16	31,00	12	20	Bajo	0,55	CL	6,34	
PA - 20	46	21	26	29,25	15	30	Medio	1,04	CL	7	
PA - 22	30	21	9	33,50	19	11	Bajo	1,58	CL	4,18	

*Correlación: Skempton (1953)

Willians (1957)

Seed et al (1962)

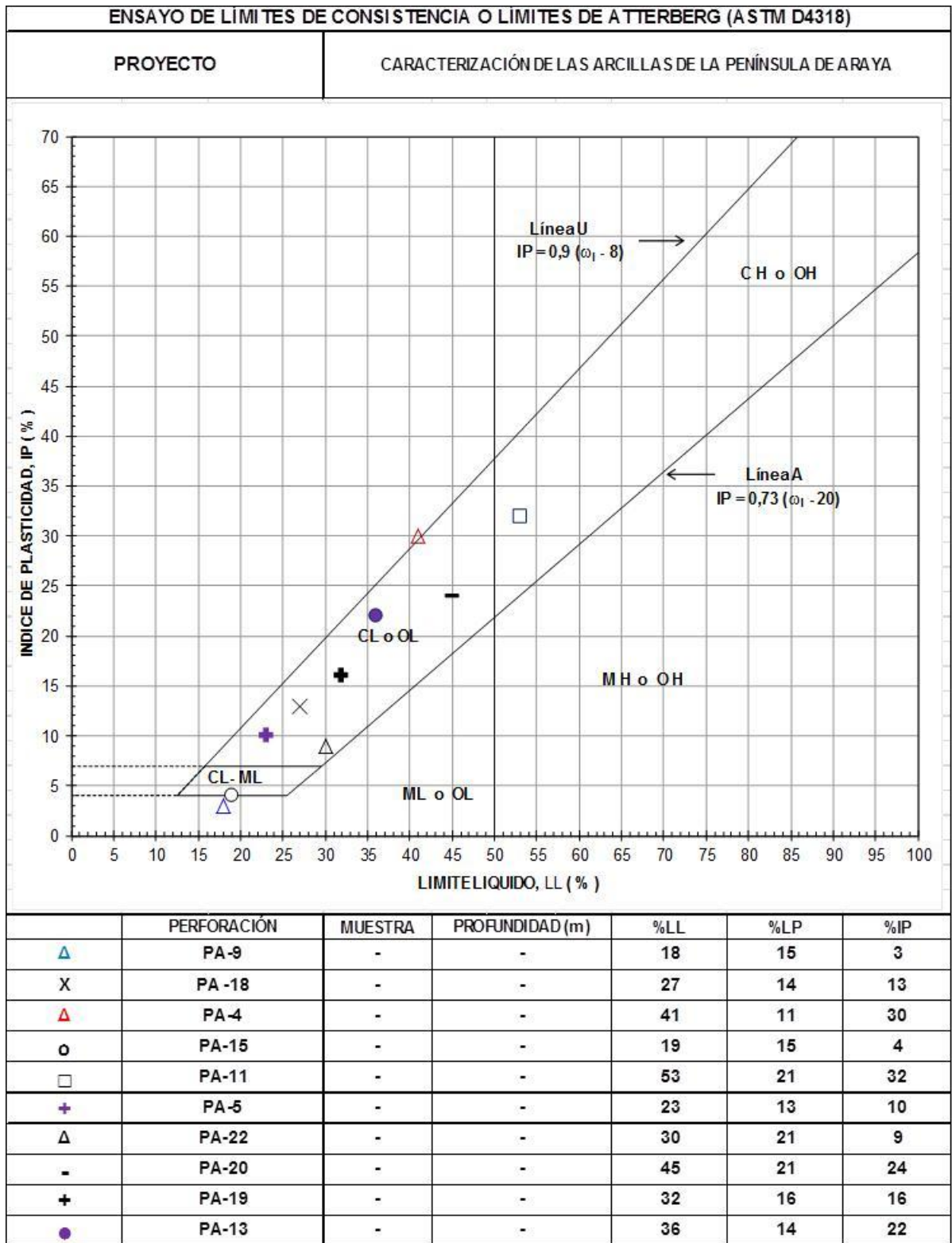


Figura 46. Gráfica de resultados de los límites de Atterberg.

Muestras PA-2 y PA-17

De acuerdo a la información mostrada en la tabla 15 y según la clasificación S.U.C.S, las muestras corresponden a una Arena Limosa, con una humedad natural de 2.07% y 0,46 % respectivamente y sus límites de consistencia no aplican por su composición mineralógica. En el apéndice 3 se puede apreciar la gráfica de hidrometría y su clasificación.

Muestras PA-4, PA-13, PA-18, PA-19, PA-20, PA-22

Luego de graficar en la carta de plasticidad de Casagrande (figura 46) y la gráfica de Atterberg (figura 47) se pudo determinar que todas estas pertenecen al grupo de las arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL) (tabla 2). Esto indica que posee bajo contenido en minerales del grupo de la arcilla que son los que hacen que sea considerado plástico al aplicarle una cierta cantidad de humedad, se pudo clasificar por el método simplificado de expansividad de Dakshamanthy y Raman (1973) dando como resultado bajo hinchamiento, con una actividad en el orden de 1,04% a 1,11%, excepto para la muestra PA-13 que es de 5,94% y un ángulo de fricción en el orden de 28,5% a 33,%. Respecto a los límites de consistencias el límite líquido LL están entre los 27% y 41 %, para un IP=muy variado entre 9% y 30 %, con una humedad natural de 3,09% a 12,32%. Estos resultados indican que las arcillas correspondientes a estas muestras no cumplen las propiedades básicas para la elaboración de ladrillos.

Muestra PA-11

Ubicada en la zona 3 de interés perteneciente a la Formación Barrigón, la cual se encuentran caracterizadas por lutita marrón pardo. El ensayo de los límites de consistencia arrojó como resultado límite líquido de 53,00 % (figura 46) y límite plástico 21,0%; con un índice de plasticidad de 32,0%, clasificándola como una arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH) según la carta de plasticidad de

Casagrande. Éste resultado sugiere que está compuesto por un alto contenido de minerales del grupo de la arcilla ya que puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse, esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a sus partículas (Braja Das, 2001), presenta una humedad de 9%, con un ángulo indirecto de fricción interna de 28% y una actividad de 1,98 % presentando un hinchamiento de medio a alto.

Muestra PA-5

Ubicada fuera de la zona de interés vía Manicuare en el contacto meta sedimentario, caracterizadas por lutita marrón que luego de aplicarle el ensayo de los límites de consistencia se obtuvo que el límite líquido es 23,0% limite plástico 13,0%; que luego al aplicar la fórmula del índice de plasticidad éste arrojó un resultado de 10,0%. Estos datos fueron graficados en la carta de plasticidad de Casagrande la cual se identificó como un limo inorgánico de baja compresibilidad (ML). Éste resultado sugiere que está compuesto por arenas finas limosas o arcillosas, presenta una humedad de 2,97%, con un ángulo indirecto de fricción interna de 33% y una actividad de 0,78 % presentando un hinchamiento bajo. Esta muestra no es de interés para fines de esta investigación por no presentar las propiedades básicas para la elaboración de ladrillos.

Muestras PA-9 y PA-15

Luego de graficar en la carta de plasticidad de Casagrande (figura 46) se pudo determinar que pertenece al grupo de las arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL) y a un limo inorgánico de baja compresibilidad (ML). Éste resultado sugiere que está compuesto por arenas finas limosas o arcillosas, (tabla 2). Esto indica que posee bajo contenido en minerales del grupo de la arcilla que son los que hacen que sea considerado plástico al aplicarle una cierta cantidad de humedad, se pudo clasificar por el método simplificado de expansividad de Dakshamanthy y Raman (1973) dando como resultado bajo hinchamiento, con una actividad en el orden de 0,26% a 1,11% y

un ángulo indirecto de fricción en el orden de 33% a 34,75%, respecto a los límites de consistencias los LL están entre los 18% y 19 %, LP 15% para ambas muestras para un IP entre 2,9% y 4 %, con una humedad natural de 4,29% a 2,52%. Estas muestras si arrojan los valores apropiados para la elaboración de ladrillos.

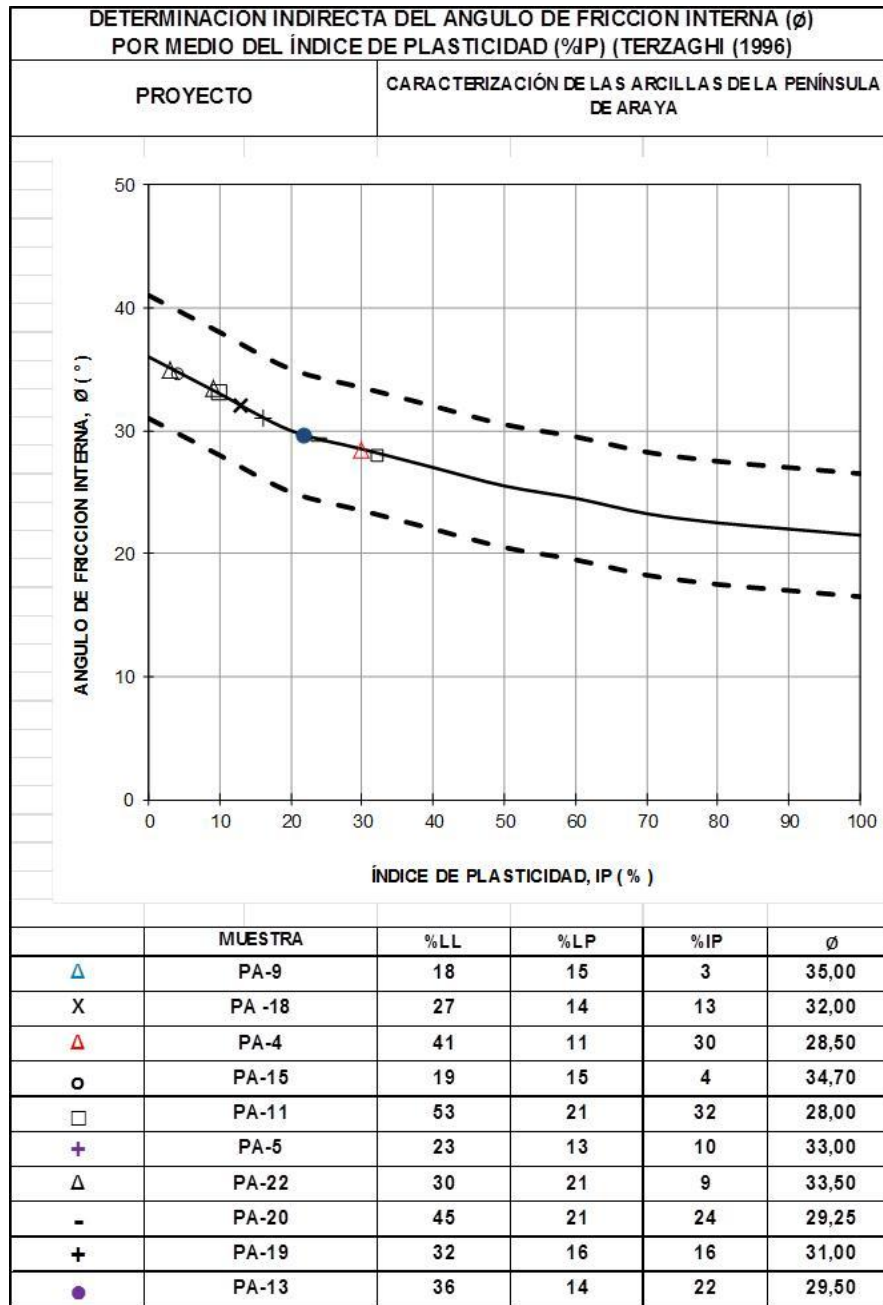


Figura 47. Gráfico de determinación indirecta del ángulo de fricción

Para fines de investigación se determinó de manera indirecta los límites de contracción de acuerdo a lo propuesto por el Método Simplificado de Casagrande mostrado en la figura 48, las cuales arrojaron valores comprendidos entre los 8,00 % y 19,00 % con un promedio cercano de 13,00 %.

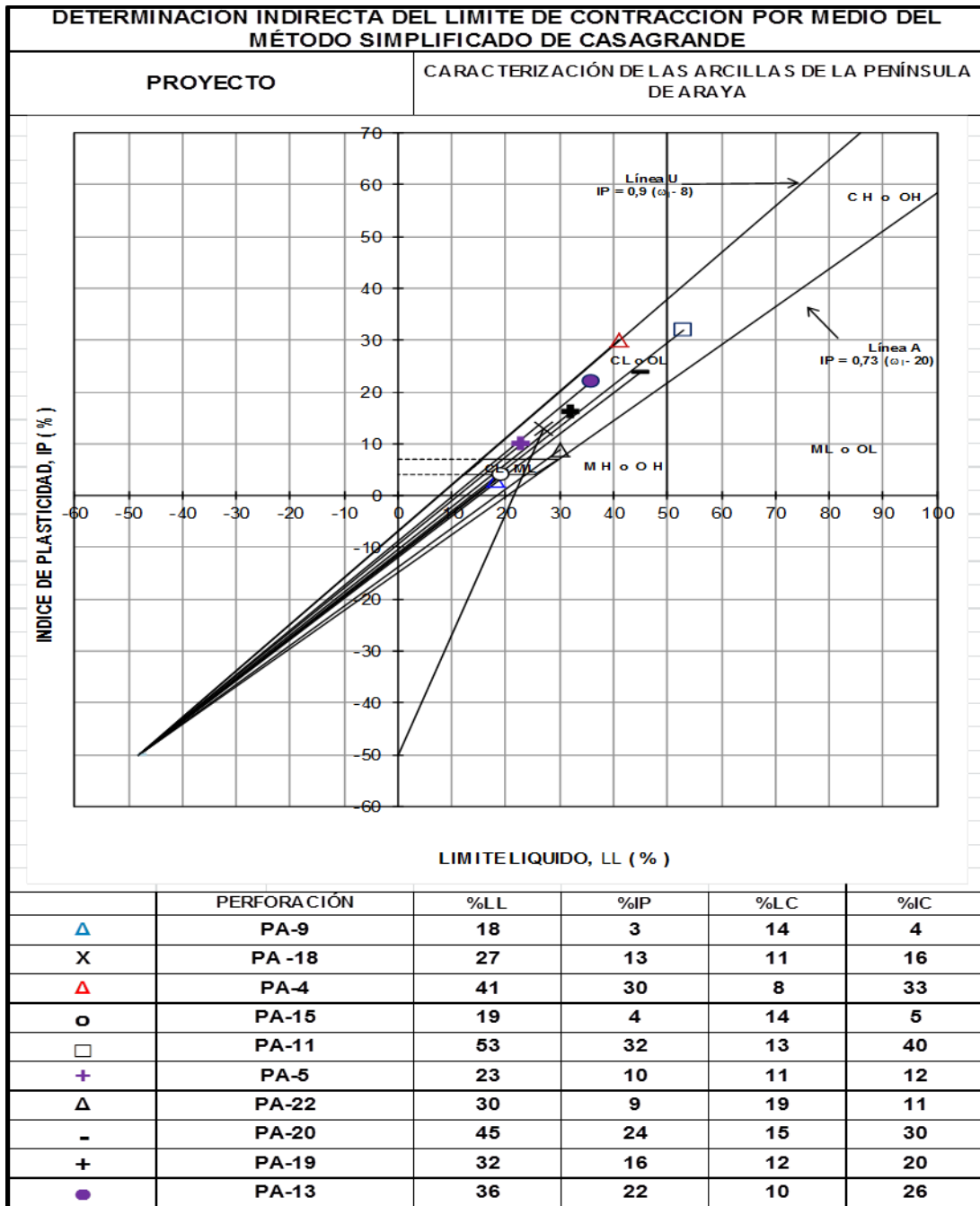


Figura 48. Grafica de clasificación de Casagrande.

Con respecto a los valores de actividad calculados de manera empírica, las cuales resultan del cociente del valor de índice plástico entre el porcentaje del tamaño de partícula menor a 0.002 mm (2μ), ayuda a definir el posible potencial de expansión de los suelos cohesivos. Recalcando que este parámetro adimensional, fue calculado a partir de los resultados de los ensayos de clasificación realizados sobre las muestras seleccionadas, arrojando valores comprendidos entre los 0.25 y 6.00 con un promedio de 1.52, puede esperarse que la cantidad de agua adsorbida venga muy influenciada por la cantidad de arcilla presente en el suelo afectando así los límites líquidos y plásticos.

Como se muestran en los gráficos a continuación mencionados por Lambe (1972).

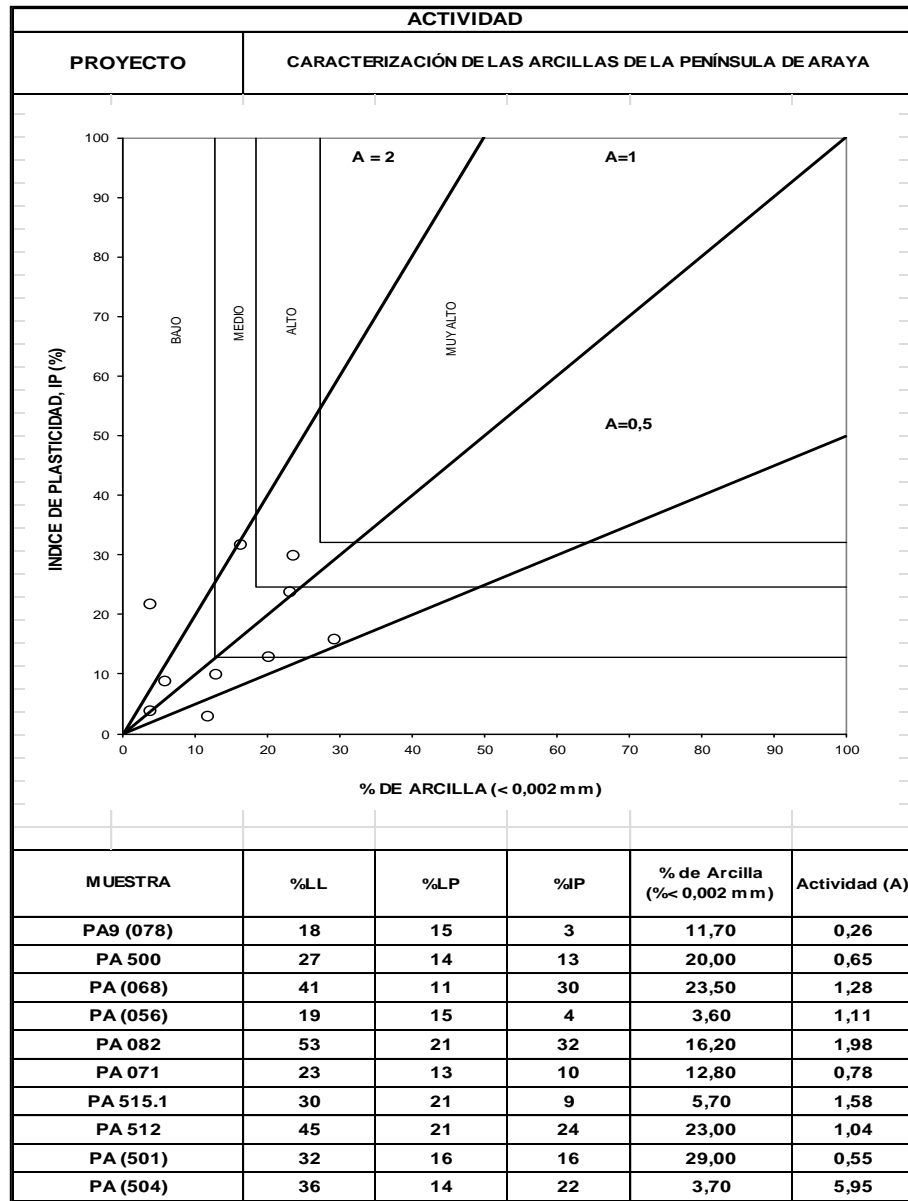


Figura 49. Gráfico de actividad de las arcillas. Según Williams (1957)

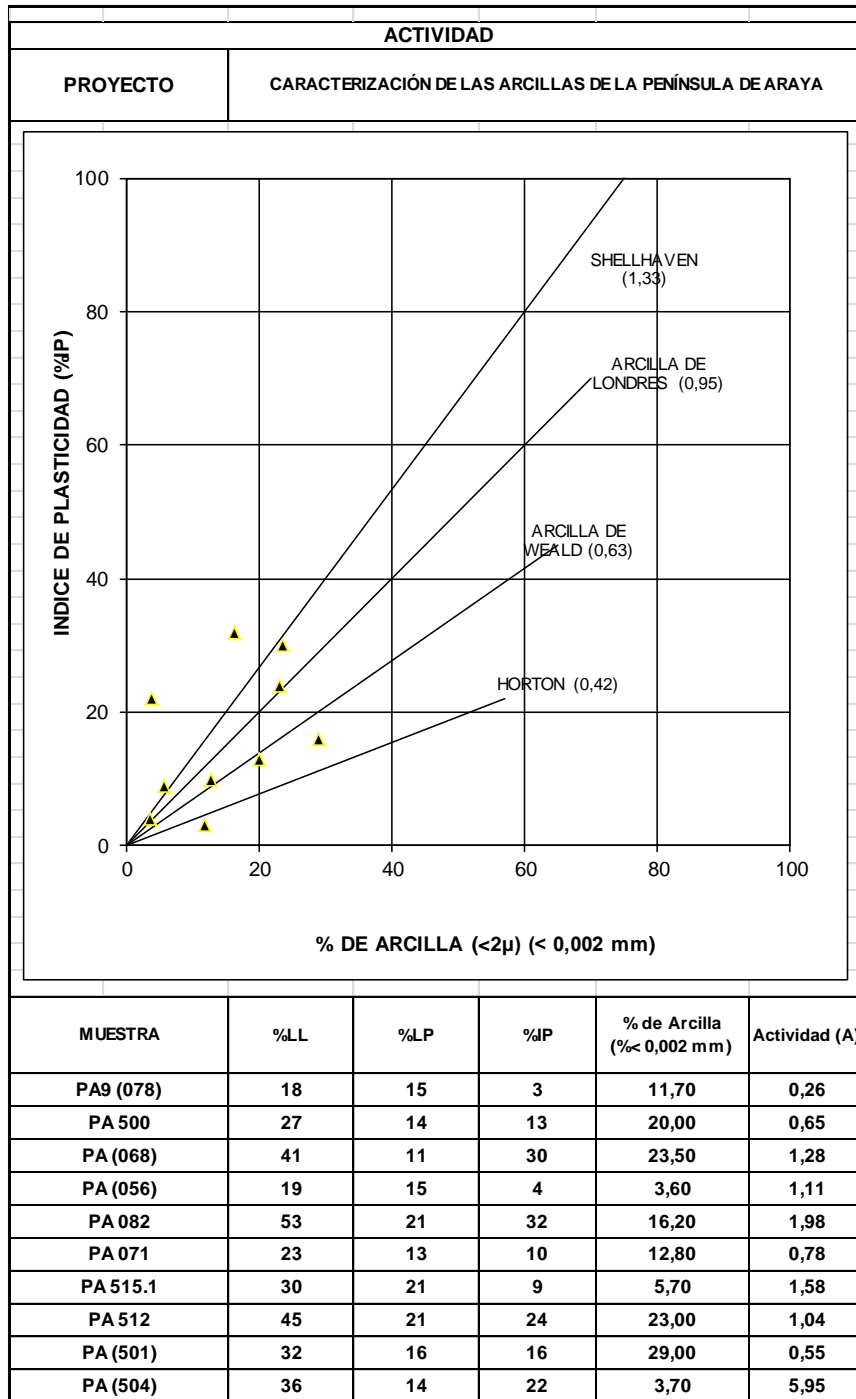


Figura 50. Gráfico de actividad de las arcillas. Según Skempton (1953).

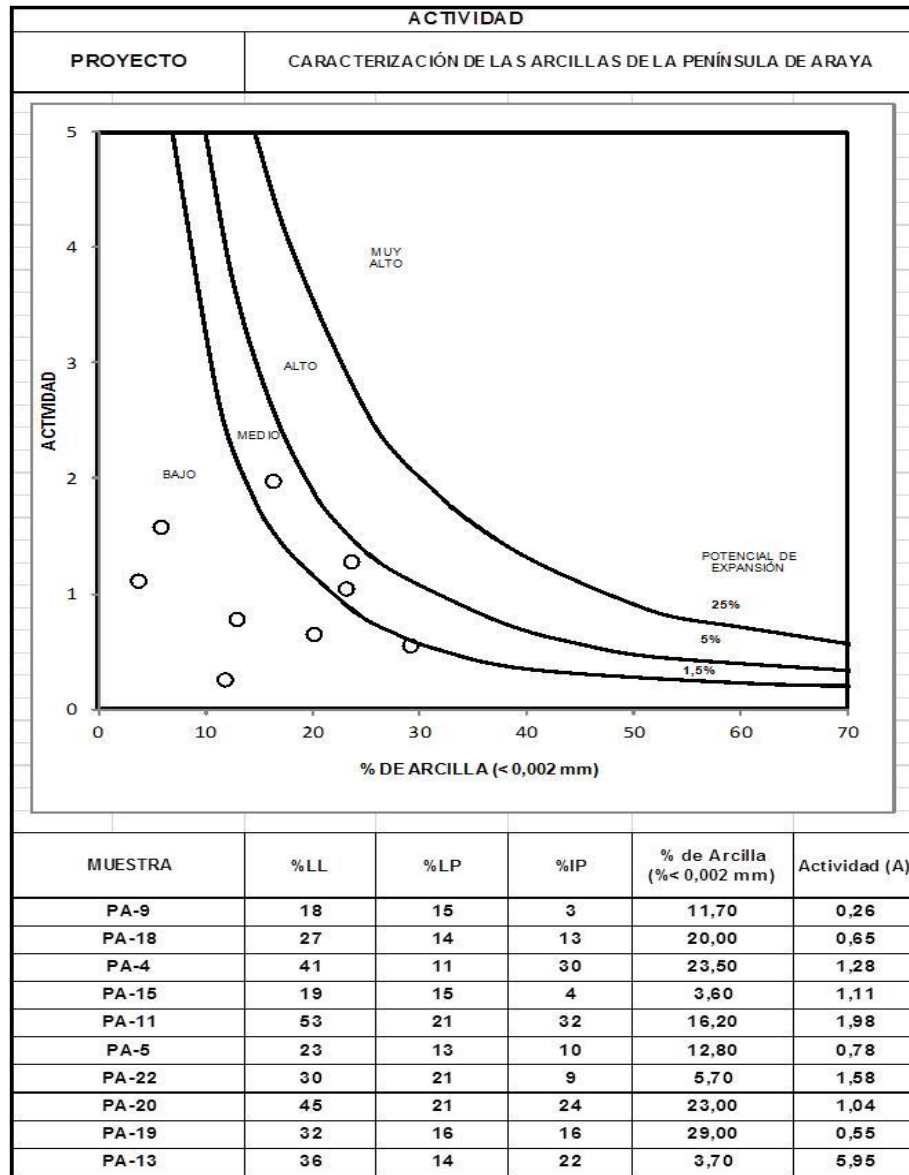


Figura 51. Gráfico de actividad de las arcillas. Según Seed et al. (1962)

Ayudando a definir de manera indirecta posibles indicios de fenómenos expansivos en las muestras arcillosas, tal y como está evidenciado en las gráficas de Willians (1957) (figura 49); Skempton (1953) (figura 50) y Seed et al. (1962) (figura 51); mencionados por Lambe (1972), las cuales se graficaron los valores mencionados, evidenciado en las tres graficas que las muestras presentan de bajo a mediano potencial de hinchamiento.

Las correlaciones empíricas utilizadas para calificar o evaluar el potencial de expansión de los suelos están basadas en los criterios establecidos por los siguientes autores: O'Neill & Poormoayed (1.980), Chen (1.975 y 1.988) y Dakshanamanthu & Raman (1.973) (figura 52).

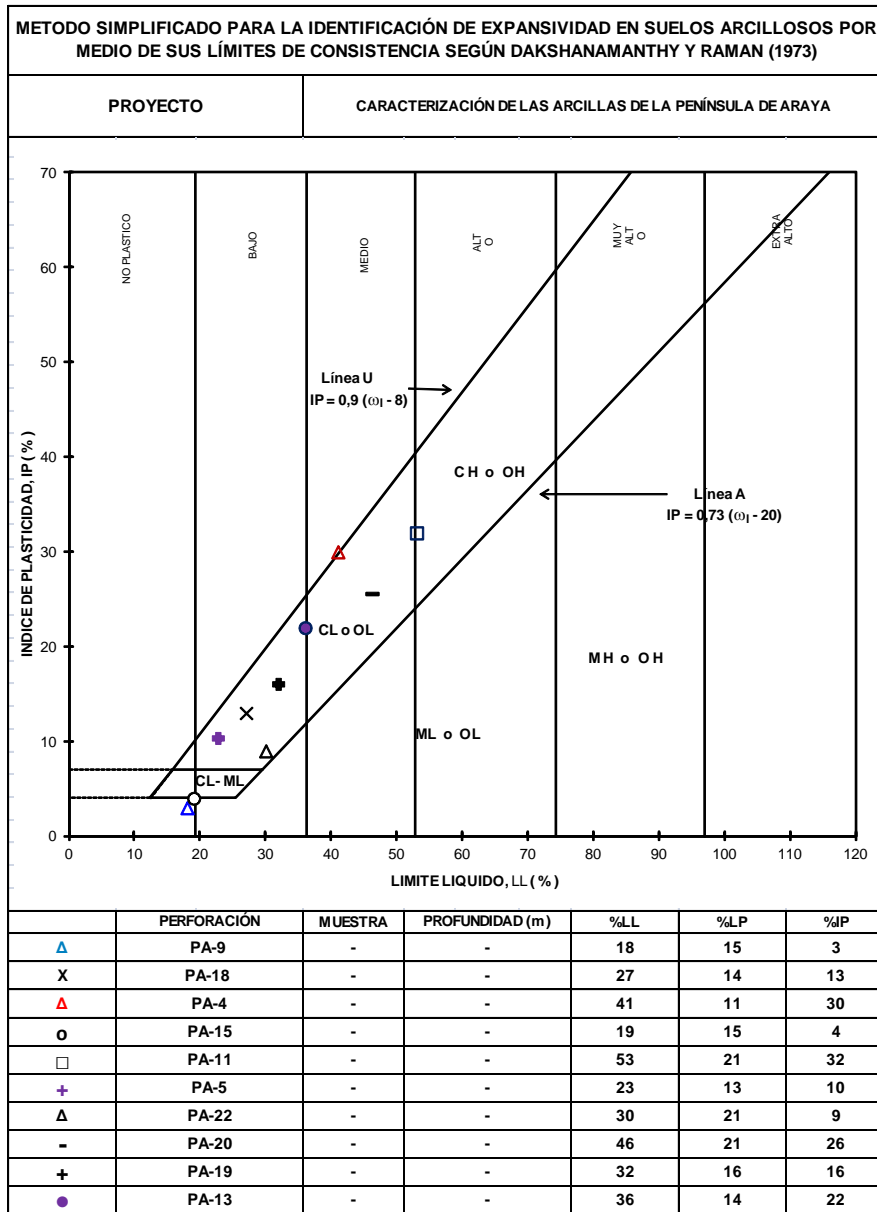


Figura 52. Expansividad en suelos arcillosos por medio de sus límites de consistencia según Dakshanamanthu y Raman (1973).

De acuerdo con los criterios empíricos empleados para evaluación del potencial de expansión de los suelos arcillosos se puede observar en el gráfico de la figura 52 que las arcillas de baja plasticidad CL presentan un potencial de expansión considerado de bajo a medio excepto para la muestra PA-11 que se encuentra ubicado con un potencial de expansión de medio a alto.

Hay que tener en cuenta para la elaboración de ladrillos, se deben usar materiales arcillosos compuestos predominantemente por illita y caolinita, con un porcentaje menor de esmectita, a los que se agregan cuarzo y otros minerales detríticos de grano fino. La caolinita y la illita son los principales constituyentes plásticos de las pastas cerámicas. La caolinita posee baja plasticidad, seca rápidamente pero no ofrece buena resistencia mecánica.

La presencia de minerales de arcilla del grupo de las esmectitas debe ser limitada pues en el proceso cerámico la presencia de minerales de este tipo aun cuando aumentan la plasticidad de la pasta, no es conveniente porque en el secado los objetos moldeados pierden volumen y se deforman, por eso su uso debe ser cuidadosamente controlado; por ello, los productos cerámicos no deben tener por encima de un tres (3%) o cinco (5%) por ciento de minerales de arcilla expansivos. El índice de plasticidad de los minerales de la illita es menor que el de las esmectitas, pero su plasticidad aumenta a medida que disminuye el tamaño del grano; la presencia de potasio en la estructura de la illita le comunica cierto poder fundente en el proceso cerámico. Los índices de plasticidad y los límites de cada mineral se pueden visualizar en la figura 53.

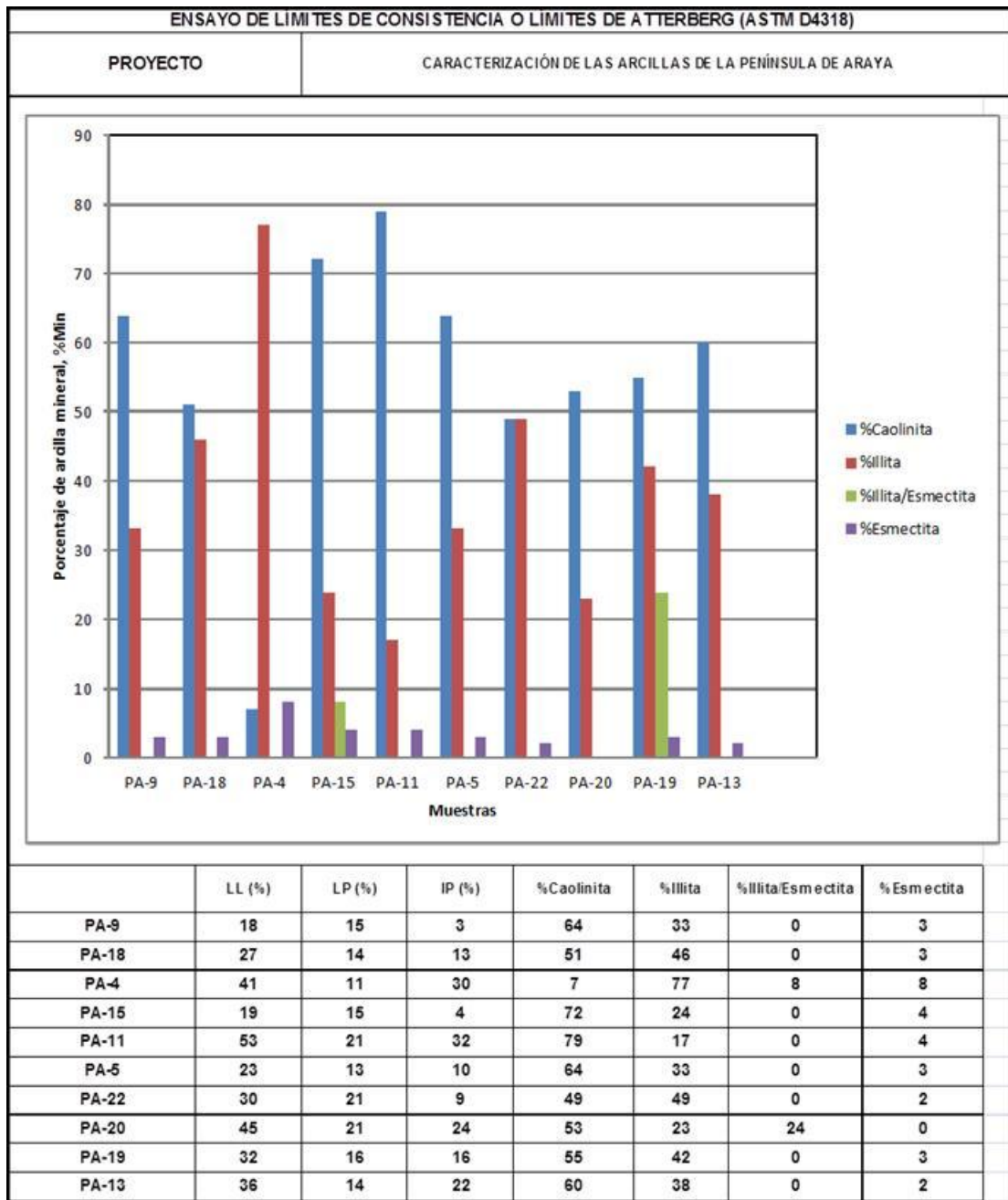


Figura 53. Límites de consistencia y porcentaje de cada mineral.

Desde el punto de vista geotécnico se observa una tendencia del contenido mineral arcilloso de las muestras con respecto a sus valores de límite líquido, las cuales son reflejadas en los gráficos siguientes. En este orden de ideas, se observan las siguientes relaciones:

$$\% \text{ Caolinita} = 319.01 (\%LL)^{-0,551}$$

$$\% \text{ Illita} = 44,911e^{-0,008(\%LL)}$$

$$\% \text{ Illita-Esmectita} = 4 (\%LL) - 156$$

$$\% \text{ Esmectita} = 1.2626 (\%LL)^{0.2807}$$

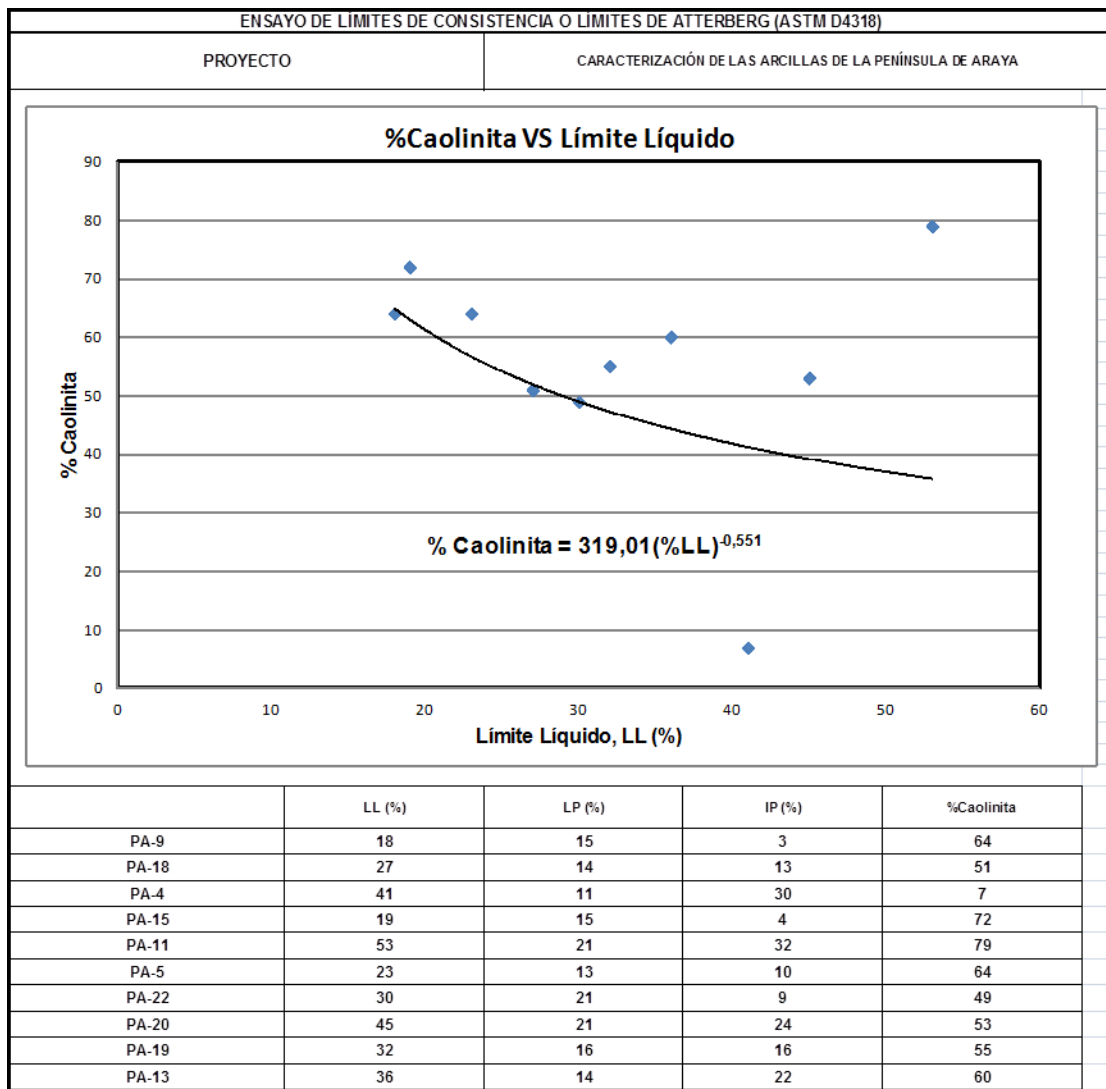


Figura 54. Gráfica del porcentaje límite líquido VS caolinita.

En el gráfico 54 se puede evidenciar que a medida que aumenta el límite líquido va aumentando el porcentaje de caolinita excepto para la muestra PA-4 que

presenta un porcentaje de caolinita de 7 %, se podría decir que esto se debe a que dicha muestra es la al momento del ensayo de difracción presentaba la mayor cantidad de impurezas y el proceso de limpieza fue el que más tardo ya que el proceso de lavado fue más largo.

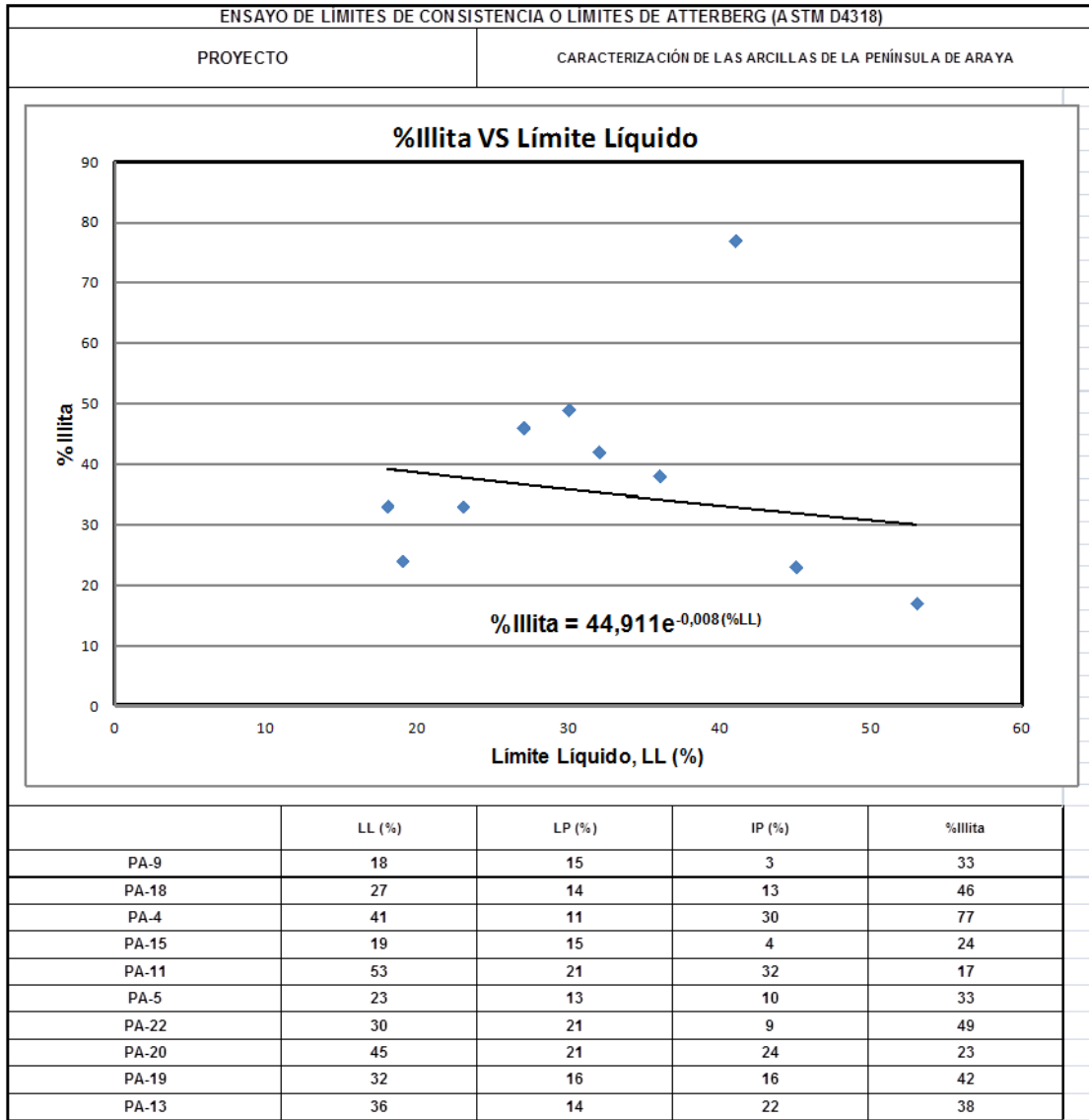


Figura 55. Gráfica del porcentaje límite líquido vs illita.

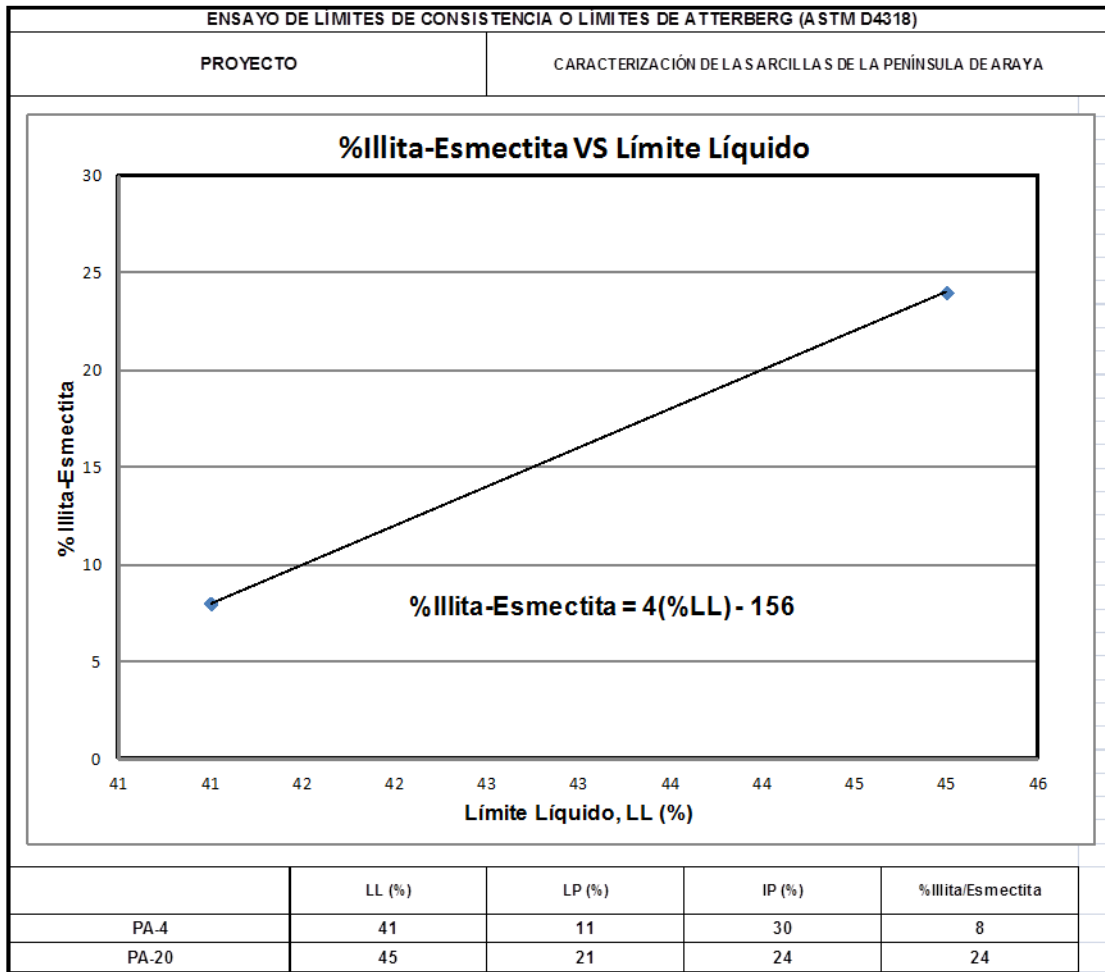


Figura 56. Gráfica del porcentaje límite líquido vs illita esmectita.

En el gráfico 56 se puede evidenciar para las muestras que presentan illita-esmectita que a medida que aumenta el límite líquido va aumentando el porcentaje de estos minerales debido a la cantidad de líquido que presenta las muestras.

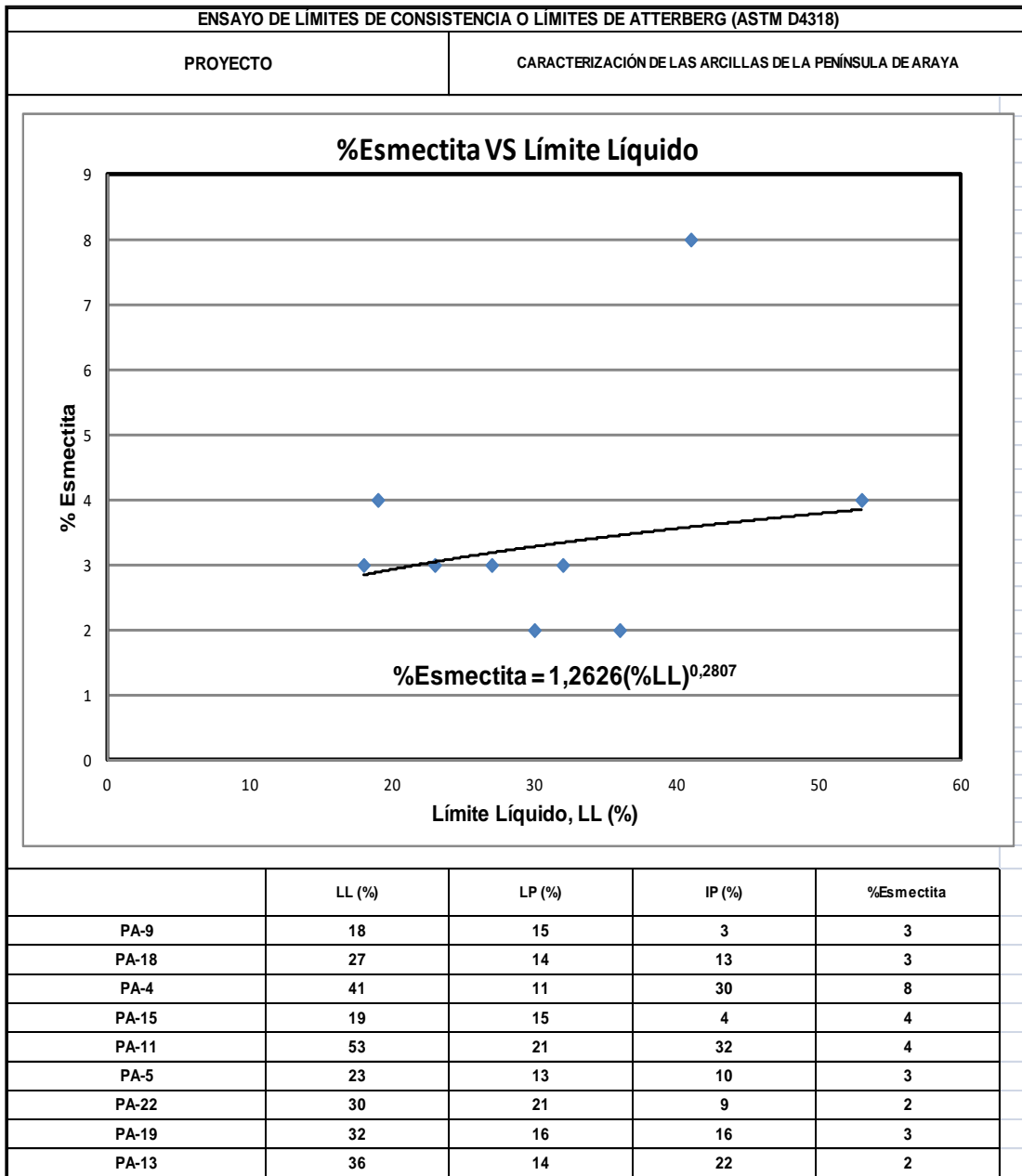


Figura 57. Gráfica del porcentaje límite líquido VS caolinita.

Estimación de minerales presente de manera inferida a partir de los datos obtenidos

Tabla 20 Cantidad de minerales de arcillas de acuerdo al % pasa 200

MUESTRA	% P 200	S.U.C.S	DRX % MINERALES DE ARCILLAS				Zona de interés
			CAOLINITA	ILLITA	ILLITA/ ESMECTITA	ESMECTITA	
PA-4	83.33	CL	7	77	8	8	2
PA-5	78.84	ML	15	12	73		2
PA-9	83.41	CL-ML	64	33		3	3
PA-11	99.84	CH	79	17		4	1
PA-13	87.73	CL	60	38		3	1
PA-15	69.87	CL-ML	72	24		4	1
PA-18	89.02	CL	51	46		3	2
PA-19	83.96	CL	55	42		3	2
PA-20	98.98	CL	53	23	24		2
PA-22	78.46	CL	49	48	10	2	2

En la tabla 20 se puede visualizar la cantidad de mineral retenido en el tamiz 200 en el cual se puede estimar la cantidad de mineral de arcilla presente de acuerdo a la relación con la DRX.

Las arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL) corresponden a las muestras PA-4, PA-13, PA-18, PA-19, PA-20 y PA-22 todas las mencionadas excepto la primera (PA-4) corresponde a las que presentan la mayor cantidad de caolinita con un porcentaje de 49-60%, y de 23-48% de illita y poco porcentaje de illita-esmectita y esmectita del material retenido en el tamiz 200, teniendo

La muestra PA-4 tiene un 83,33% de minerales de arcillas retenidos en el tamiz 200 de las cuales solo el 7% corresponde a caolinita, 77% a la illita y un 8% de illita- esmectita y esmectita sola, siendo esta la muestra con mayor cantidad de illita y menor cantidad de caolinita siendo esta la menos apropiada para la fabricación de

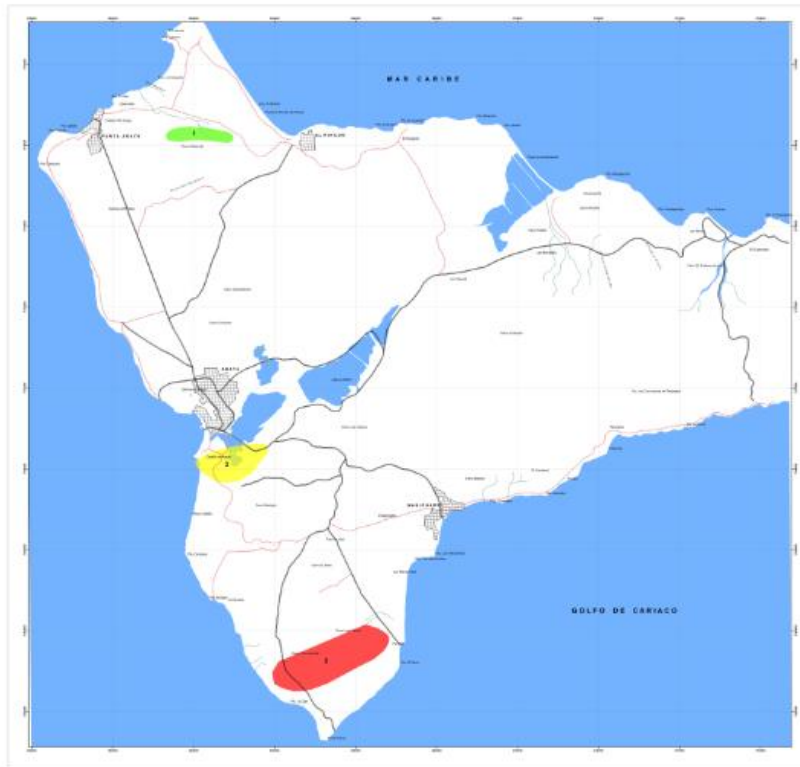
ladrillos porque muestra muchas impurezas y no cumple con el mínimo de porcentaje de caolinita e illita.

La muestra PA-5 correspondiente a un limo inorgánico de baja compresibilidad, contiene un 78,84 % de material retenido en el tamiz donde el 73 % corresponde a illita-esmectita y un 15% y 12% para la caolinita y la illita, de igual manera no cumple con los porcentajes apropiados para la elaboración de ladrillos

Las muestras PA-9 y PA-15 pertenecen al grupo de las arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL) y a un limo inorgánico de baja compresibilidad (ML). Tienen mayor del 70 % de caolinita y entre 33 a 24% de illita y apenas un 3 a 4% de esmectita del 83,41 % y 69, 87 % de material retenido en el tamiz.

De acuerdo a la información suministrada en la tabla 21 se puede inferir que la mayor cantidad de muestra retenida corresponde a las arcillas inorgánicas de baja plasticidad y a los limos inorgánico de baja compresibilidad donde estas presentan la mayor cantidad de caolinita, mineral fundamental para la construcción de ladrillos.

Mapa de Representación de Áreas



TUTOR ACADÉMICO: RICARDO ALEZONES



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ingeniería
Escuela de Geología, Minas y Geofísica
Autores: Barreto M. Yulimar C.
Godoy R. John S.



Ubicación del Área de Estudio



LEYENDA

SIGNOS CONVENCIONALES

VÍAS	
	Carretera Pavimentada
	Autopista
	Carretera
	Calle
	Puente
	Poblados
Hidrografía	
	Quebradas
	Lagunas

Nomenclatura	Área
1	49,453 Ha
2	251,733 Ha
3	115,274 Ha

Calculando las toneladas de las arcillas de acuerdo a las muestras en campo ubicadas en el mapa anexo 1, los cortes 1 y 2 (anexo 4 y 5) respectivamente y comparando con los datos de Vignali, llevando los datos a una misma escala de trabajo y realizando cálculos básicos de acuerdo a la fórmula de volumen, se puede inferir que la mayor cantidad de recurso se encuentra en los puntos 1 y 3 ya que se encuentran los depósitos de arcillas más grandes perteneciente a la Formación Barrigón y Formación Cubagua del miembro Cerro Verde como se muestra en la tabla 21 lo que quiere decir que en esta zona hay mayor recurso mineral y coinciden con los datos obtenidos en DRX y por los ensayos geotécnicos ya que en esos puntos se ubican las mejores arcillas para la elaboración de ladrillos.

Tabla 21. Estimación de cantidad de mineral presente

	CALCULO DE RECURSOS INFERIDO	
	DATOS DE CAMPO	DATOS DE VIGNALI
1.- Formación Barrigón	2077.026.000 Ton/m ³	1236.325.000 Ton/m ³
2.- Formación Cubagua: Miembro Cerro Negro	1006.932.000Ton/m ³	943.998.750 Ton/m ³
3.- Formación Cubagua: Miembro Cerro Verde	2305.548.000 Ton/m ³	1844.384.000 Ton/m ³

Tabla 22 Tabla resumen y de zonificación de las muestras

Muestra	Ubicación	DRX				FRX		LÍMITE DE CONSISTENCIA			DETERMINACIÓN INDIRECTA DEL ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (φ)		DETERMINACIÓN INDIRECTA DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN POR MEDIO DEL MÉTODO SIMPLIFICADO DE CASAGRANDE		*ACTIVIDAD %	CLASIFICACIÓN S.U.C.S	HUMEDAD	MINERAL DE ARCILLA RETENIDO EN EL TAMIZ 200	ZONA DE INTERES		
		CAOLINITA	ILLITA	ILLITA/ESMECTITA	ESMECTIT A	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	LL	LP	IP			%LC	%IC							
PA-1	Punta Arena	45	20	35																	
PA-2	Punta Arena	69	25		6	11,79	3,11	NP										SM	2,07		2
PA-3	Punta Arena	51	46		3																
PA-4	Vía manicuare	7	77	8	8	49,84	25,07	41	11	30	28,5	Medio	8	33	1,28	CL	3,09	83,33	2		
PA-5	Vía Manicuare	15	12	73		25,21	10,43	23	13	10	33	Bajo	11	12	0,78	ML	2,97	78,84	2		
PA-6	Frente a la Salina (laguna Madre)	30	29	21	20														3		
PA-7	Detrás del Castillo de Araya	66	1	33																	
PA-8	Castillo Por las antenas	53	23	24															3		
PA-9	Playa Paría	64	33		3	55,15	8,6	18	15,1	2,9	35	Bajo	14	5	0,26	CL-ML	4,24	83,41	3		
PA-10	Playa Paría	46	52		2																
PA-11	Vía Punta Araya	79	17		4	49,1	17,08	53	21	32	28	Medio-Alto	13	40	1,98	CH	9	99,84	1		
PA-12	Vía Punta Araya	59	38		3														1		
PA-13	vía Punta Araya	60	38		2	35,4	8,06	36	14	22	29,5	Bajo	10	26	5,95	CL	12,32	87,73	1		
PA-14	Vía Punta Araya	64	33		3														1		
PA-15	Vía Punta Araya	72	24		4	14,01	1,36	19	15	4	34,7	Bajo	14	5	1,11	CL-ML	2,52	69,87	1		
PA-16	Vía Punta Araya	68	30		2														1		
PA-17	Bloquera	66	34			70,86	7,45	NP										SM	0,46		2
PA-18	Manicuare- Punta Arena	51	46		3	67,12	16,85	27	14	13	32	Bajo	11	16	0,65	CL	3,82	89,02	2		
PA-19	Manicuare- Punta Arena	55	42		3	56,1	17,73	32	16	16	31	Bajo	12	20	0,55	CL	6,34	83,96	2		
PA-20	Cero Macho	53	23	24		50,57	15,13	46	21	26	29,5	Medio	15	30	1,04	CL	7	98,98	2		
PA-21	Cerro Guamache (sr. Pedrito)	67	30		3																
PA-22	Vía Manicuare	49	49		2	54,77	21,28	39	21	9	33,5	Bajo	19	11	1,58	CL	4,18	78,46	2		
PA-23	Vía Manicuare	56	41		3																
PA-24	Vía Manicuare	40	48	10	2																

Nota: zona 1 de mayor interés mineral

De manera general se puede decir de acuerdo a los datos obtenidos en campo y agrupando de acuerdo a las zonas mostradas en el mapa de representación de áreas la zona 1 es la de mayor interés, seguido de la zona 2 y finalmente la zona 3 como se muestra en la tabla 22 de acuerdo a las características de las arcillas en cuanto a la DRY, FRX y ensayos geotécnicos, donde se puede visualizar que los límites de consistencia o de Atterberg, basado en la norma ASTM D4318 – 17, están comprendido entre: límites líquidos 18 % y 53 % e índices plásticos entre 3% y 32% con promedios de 32% y 16% respectivamente; graficarse en la Carta de Plasticidad de Casagrande, las cuales se ubica por debajo de la Línea U y por encima de la Línea A, reflejando así su clasificación CL-OL de acuerdo a lo estipulado al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

Adicionalmente dichos valores de consistencia muestran evidencia de posibles propiedades expansivas de los suelos tal y como lo evidencia la gráfica presentada por Dakshanamanthy y Raman (1973), las cuales muestran de bajo a medio potencial de hinchamiento.

Basado en la ASTM D422, se realizó el ensayo de granulométrica por medio de hidrómetro, arrojando valores de distribución granulométrica típicos de suelos finos cohesivos, clasificándolas de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) mayormente como CL y en menor medida como CH, ML, SM y CL – ML.

En este orden de ideas; de acuerdo a lo propuesto por Terzaghi (1996), con los valores obtenidos del índice de plasticidad se puede estimar de manera indirecta para fines de investigación los valores de resistencia como el ángulo de fricción interna (ϕ), arrojando valores comprendidos entre los 28,00 y 35,00. Como se evidencia en la figura 47 Es importante destacar que este dato no debe tomarse para diseño de fundaciones en reemplazo de los ensayos para la determinación de la resistencia al esfuerzo mecánico.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- De acuerdo a los ensayos y análisis realizados 3 de las 24 muestras están en el rango de los valores establecidos en estudios previos para la fabricación de ladrillos de 50%-60% de SiO_2 y 20%-30% de Al_2O_3 . A pesar de que el análisis de DRX muestra que tienen alto contenido de Caolinita mineral fundamental para la elaboración.
- La litología determinada como Lutita marrón pardo de la Formación Barrigón es la que de acuerdo a los análisis de Difracción de Rayos X, fluorescencia y geotécnicos, posee mayor interés desde el punto de vista industrial, como material para aportar plasticidad, por su contenido mineralógico (cuarzo, illita, caolinita), químico (de SiO_2 entre 50- 60 %, Al_2O_3 entre 20-30%), naturaleza plástica (arcilla de media a baja plasticidad).
- Los valores de consistencia muestran evidencia de posibles propiedades expansivas de los suelos tal y como lo evidencia la gráfica presentada por Dakshanamantny y Raman (1973), las cuales exponen de bajo a medio potencial de hinchamiento. Es por ello que se sugiere a las autoridades competentes tomar las diversas medidas preventivas (tales como estabilización química con cal, compactación, humedecimiento, etc.) a la hora de realizar futuras obras de vialidad en la zona.
- Para la elaboración de ladrillos, se deben usar materiales arcillosos compuestos predominantemente por caolinita y illita, con un porcentaje menor de esmectita, a los que se agregan cuarzo y otros minerales detríticos de grano fino. Estos componentes cohesivos son los principales constituyentes plásticos de las pastas cerámicas. La cantidad de esmectitas debe ser limitada; aun cuando aumentan la plasticidad de la pasta, ya que en el proceso de secado se

contraen; perdiendo volumen y corriendo el riesgo de sufrir deformaciones. Es por ello que su uso debe ser controlado, no excediendo de un tres (3%) a (5%) de contenido de esta arcilla mineral. Por los que las muestras PA- 9 y PA- 15 son las más aptas ya que poseen un 70 % de caolinita y entre 24% y 33% de illita y de 3% a 4% de esmectita correspondiente a las arcillas de baja plasticidad y limos inorgánicos de baja compresibilidad.

- La arcilla apta para la fabricación de cerámicos de construcción debe de tener en contenido de SiO_2 entre 50 y 60% de Al_2O_3 entre 20 y 30% en cuanto a este contenido las muestras PA-4, PA-9, PA-11 y PA-22 son las más apropiadas para su contenido de SiO_2 y Al_2O_3 encima del mínimo necesario. No descartando las arcillas PA-15, PA-18, PA-19 y PA-20 dado que su composición no se aleja mucho para el rango óptimo, además dichas arcillas pueden mezclarse con otras de tal manera que dicha mezcla arcillosa tenga la composición requerida.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de microscopía electrónica a las muestras de la zona a manera de poder caracterizar desde el punto de vista cualitativo la morfología de las arcillas minerales presentes en el sitio
- Caracterizar geotécnicamente las arcillas ubicadas en la zona para conocer sus diversas propiedades mecánicas (presión y potencial expansión, resistencia al corte y a la compresión, etc.), mediante ensayos especiales ya que nos ayudaría a entender el comportamiento de estos materiales y poder tener así datos fiables para posibles aplicaciones (minería, diseño de fundaciones, futuras investigaciones, etc.).
- 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.
- Caracterizar desde el punto de vista químico dichos cuerpos arcillosos con ensayos como el de Punto de Fusión, %Fe₂O₃, %CaCO₃, % de materia orgánica, entre otros; con la finalidad de complementar las cualidades de dichos materiales.
- Por sus posibles propiedades expansivas de las arcillas presentes en la zona de estudio, se recomienda a la hora de realizar futuras obras de vialidad; aplicar medidas correctivas (tales como compactación controlada, estabilización con cal, reemplazamiento de material, prehumedecimiento, etc.) con la finalidad de poder controlar el hinchamiento de los suelos cohesivos.

CAPÍTULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- Abuahzi A., F. Dos Santos & M. Nunes. (2004) Sedimentología y estratigrafía de las formaciones Coche y Tortuga en la península de Araya. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 129 p.
- Alvarado A (2005). Integración geológica de la península de Araya. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 238 p.
- Aguerrevere P. (1936). Notas geológicas sobre Margarita y Coche. Sociedad Venezolana Ciencias Naturales, 397-403.
- Aguerrevere, P. (1936). Notas geológicas sobre Margarita y Coche. Soc. Venezolana. Cienc. Nat., 3(28): 397- 403 p.
- Análisis granulométrico. (Internet) Chile, Universidad Católica de Valparaíso. Disponible en http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometria.pdf. (Acceso 11/09/2017)
- Alarcón (1990) Reconocimiento geológico y prospección de arcillas de uso industrial en la región de Quibor-Sanare estado Lara. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, U.C.V.
- Alvarado, A. (2005) Integración geológica de la península de Araya, estado sucre. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, U.C.V.

- Arias, I. (2004). Estudio de minerales de arcilla presentes en muestras de sedimentos superficiales y núcleos de la fachada atlántica venezolana. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, U.C.V.
- Baritto T., I 2003. Caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de núcleos de la fachada atlántica venezolana. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, U.C.V.
- Beltrán C. & Giraldo C. (1988). Tectónica Cuaternaria asociada a la Falla de Laguna Grande, Península de Araya (Estado Sucre) y campo de esfuerzos. En Memorias 50° Aniversario de la Escuelas de Geología, Minas y Geofísica. GEOS N°29 (1989). Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 195-204.
- Bermúdez P. (1966). Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno Medio al Reciente de las costas central y oriental de Venezuela. Boletín. Geológico. 7 (14): 333-411 p.
- Bermúdez P. y Bolli H. (1969). Consideraciones sobre los sedimentos del Mioceno Medio al Reciente de las costas central y oriental de Venezuela. Los foraminíferos planctónicos. 2da parte. Boletín. Geológico. 7(14): 413-611
- Bustillo M. y López C. (1997). Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Madrid. ISBN 84-921708-2-4.
- Campos O. (1991). Sedimentología y estratigrafía de las islas Coche y Cubagua estado Nueva Esparta. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 200 p.
- Castro D. y Rivero W. (2010). Caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la hacienda el marqués, municipio Zamora, Guatire, estado

- Miranda. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, U.C.V.
- Cornelis, K. & Cornelius, H. (1998). Manual de mineralogía Cuarta edición, basado en la obra de J.D. Dana editorial Reverté, S.A. España pág. 562- 570 p.
- Danielo A. (1974). Estudio geomorfológico del Sistema Montañoso Nororiental. Zonas 7 y 8. COPLANARH. Caracas. 139 p.
- Das, B., (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Editorial Cengage Learning Latin Am. 594 p.
- Deer, W., Howie, R., Zussman, J., (1971). Rock forming minerals. Ed. Longmans Greenand Co., vol. 1, 333 p.
- Dubessy Poty & Ramboz (1989) Avances en C-O-H-N-S geoquímica de fluidos basados en micro-Raman análisis de espectrometría de inclusiones fluidas. - Revista Europea de Mineralogía, 1, 517-534 p.
- Erlich, R. y Barret, S. (1990). Cenozoic plate tectonic history of the northern Venezuela-Trinidad area. *Tectonics*, 9 (1): 161-184.
- Espina J. (1963). Estudio geológico de una zona de la Península de Araya. Estado Sucre. Distrito Sucre. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 32 p
- Espejo A. 1963. Estudio geológico de una zona de la Península de Araya. Estado Sucre. Distrito Sucre. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 26 p
- Estévez G. José A. (2007). Geochemical and sedimentological characterization of some marine Cenozoic South America. PhD (Tesis). Universidade A Coruña. 233p

- Fernández J. (2004). Estratigrafía de la Formación Cubagua en la zona noroccidental de la península de Araya. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado. Inédito. 132 p.
- Fernández & Martins (2012). Caracterización geológica y geoquímica de la formación San Luís en las localidades ubicadas al sur de Caujarao y La Tabla, estado Falcón. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 186 p.
- Fournier H. (1999). Estudio de los minerales de arcilla en la sección de Agua Blanca - Altagracia de Orituco. Estados Guárico y Miranda. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 184 p.
- Galán E., Miras A, Aparicio P. (1998). New uses for brick-making clay materials from the Bailén area (southern Spain). *Clay Miner.* 33: 453-465.
- Gonzalez de Juana C. (1947). Elements of diastrophic history of northeastern of Venezuela. *Geol. Soc. Amer., Bull.* 58 (8): 689-702.
- González de Juana C., N. Muñoz & M. Vignali. (1965). Reconocimiento geológico de la parte oriental de Paria. *Asociación Venezolana Geología Minas y Petróleo Boletín Inform.* 8(9): 255-279.
- González de Juana C., J. Iturralde De Arozena & X. Picard. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos. 1021 p.
- Grande, S (2000) *Guía de mineralogía*, sin publicar pág. 52-60.
- Gonzales L., Prieto A. y Molina, C. (2004). Los reptiles de la península de Araya, Estado Sucre, Venezuela. *INCI*. [Online], volumen 29, No.8 [visitado 22 Diciembre 2016], p.428-434. <http://www.scielo.org.ve/scielo.php>.

- Hernández, M. (2006) Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, estado Aragua. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, U.C.V.
- Humboldt A. (1969). Alejandro de Humboldt por tierras de Venezuela. Edic. Fundación E. Mendoza, Caracas, 270 p.
- Humboldt A. (1991). Viaje a las regiones equinocciales del nuevo continente. Monte Ávila Editores, Caracas, tomo II, 458 p.
- Jam P. & M. Méndez. (1962). Geología de las islas de Margarita, Coche y Cubagua. Mem. Soc. Nat. La Salle, 22 (61): 51-93 p.
- Jiménez, J. y Justo, J. (1971) Propiedades de los suelos y rocas. Geotecnia y Cimiento. Tomo 1 pág. 63-76 p.
- Léxico Estratigráfico de Venezuela. (1998). <http://www.pdv.com/lexico/> [Consultado en: Julio de 2017]
- Macsotay O. (1965). Carta faunal de microfósiles correspondientes a las formaciones cenozoicas de la península de Araya, estado Sucre. Geos (UCV-Caracas) 13:37-49 p.
- Macsotay O. & W. Moore. (1974). Cronoestratigrafía de algunas terrazas cuaternarias marinas del nororiente de Venezuela. Cuadernos Azules, Universidad de Oriente, 63 p.
- Macsotay O. & L. Caraballo. (1976). Geología y bioestratigrafía de la parte oriental del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela. Boletín Oceanográfico Universidad de Oriente, 15 (1): 25-56 p.

- Macsotay O., T. Peraza & M. Wehrmann. 1995. Grupo Cubagua: Ciclo molásico marino (III) de edad Mioceno Tardío-Plioceno Temprano de Venezuela Nor-Oriental. *Boletín Geológico., M.E.M., Pub. Esp.* 10: 164-176 p.
- Martínez D., Gil O., Barón A. Espectrometría de fluorescencia de rayos X. *Revista colombiana de física., vol. 38, no. 2. 2006 790.* Disponible: http://calima.univalle.edu.co/revista/vol38_2/articulos/pdf/3802790.pdf. (Consulta 2017, septiembre 15).
- Miall A. 1982. Lithofacies types and vertical profile models in braided deposits: a summary. *Canadian Soc. Of Petroleum Geologist, Mem.* 5, 597-604 p.
- Moore, D.M. & R. C. Reynolds JR 1989. X-Ray. Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University of Press, Oxford, 332 pp.
- Mujica A. (2017). Geología de la región de Araya-Saucedo, estado Sucre. Tesis de grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, U.C.V.
- Ostos, M (1990), Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos. *Geos.* 30:1-290.
- Padrón V. 1992. Las unidades Neógeno Cuaternarias del noreste de Venezuela. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de Ascenso. Inédito. 80 p.
- Padrón V., Martinell, J. y Domenech R. (1992). The marine Neogene of Eastern Venezuela, a preliminary report. 1er R.C.A.N.S. Congress. Núm. 12,151-159.
- Padrón V. y J. Estévez. (1997). La Formación Coche: un abanico deltaico Holoceno. *Memorias. I Congreso. Latinoamericano de Sedimentología., 2:* 143-150 p.

- Patrick H. 1959. Nomenclatura del Pleistoceno en la cuenca de Cariaco. Bol. Geol. 5 (10): 91-97 p.
- Patrick H. 1959. Nomenclatura del Pleistoceno en la cuenca de Cariaco. Bol. Geológico. 5 (10): 91-97 p.
- Sánchez S (2004). Líquidos y sólidos. Difracción de bragg [en línea]: <http://liquidosysolidos607.blogspot.com/2014/01/difraccion-de-bragg.html> [visitado 02 Noviembre 2016]
- Skoog, d et al. (2001). Fundamentos de química analítica. Barcelona, ed. Reverté, 604 p
- Smith, W. y Hashemi, J. (2004). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. Editorial Mc Graw Hill, cuarta edición 105-110 p.
- Stainford R. 1965. Resúmenes: "Geos", N° 13, Asoc. Venez. Geol. Min. y Petrol., Bol. Inform., 8(12): 345-346 p.
- Universidad Nacional de Ingeniería Perú (2006). Primer taller de mecánica de suelos. Referencia: ASTM D-854, AASHTO T-100, J. E. Bowles (Experimento N° 7), MTC E 113-2000.
- Schubert, C. (1972). Geología de la península de Araya. Mem. IV Congreso. Geológico venezolano. Boletín Geológico, Publicación. España, 1823-1886.
- Smith, W. y Hashemi, J. (2004). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales. Editorial Mc Graw Hill, cuarta edición pag.105-110.
- Terzaghi, K. (1925). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica (1ª ed.). Buenos Aires, Argentina: Ediciones El Ateneo.

- UGAS, C. (1985). Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Vargas G. Arquímedes F. (2007). Atlas de la península de Araya, 187 p. Caracas Venezuela.
- Vignali M. (1964). Estudio geológico de las rocas sedimentarias de Araya. Universidad Central de Venezuela. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo de Ascenso. Inédito. 37 p.
- Vignali M. (1979). Estratigrafía y estructura de las cordilleras metamórficas de Venezuela oriental (penínsulas de Araya-Paria e Isla de Margarita). Geos (UCV, Caracas). 25: 19-66 p.
- Vignali C., M., (1965). Estudio geológico de las rocas sedimentarias de Araya. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Geo U.C.V 13: 23-36.
- Vivas V., O. Macsotay & Moticska. (1989). Isla de Coche: sedimentación molásica continental sobre la plataforma Araya-Coche-Margarita, Venezuela nororiental. Mem. VII Congreso Geológico. Venezolano, 2: 590-614.
- Vivas V. (1987). Bioestratigrafía del Cretáceo de la región Bergantín-Santa Inés, estado Anzoátegui, Venezuela nororiental. Bol. Geológico. 16(29): 3-128 p.
- Zapata E, Padrón, V., Rey, O. & Estévez, J. (1999). Clasificación de salicilatos y carbonatos de mezcla en sedimentos y rocas de las formaciones Cubagua y Tortuga. Araya, Estado Sucre. Bol. Soc. Venezolana Geol. 24 (1): 5-23 p.
- Zea, N. (2005) Caracterización de las arcillas en la fabricación de ladrillos artesanales. Universidad de San Carlos Guatemala, para optar el título de ingeniería civil.

Apéndice 1

1.1 Geografía Física

1.1.1. Generalidades

La península de Araya, junto con la península de Paria, conforma la Cordillera de Araya-Paria. La península de Araya, constituye al municipio autónomo Cruz Salmerón Acosta, capital Araya, limita por el norte con el mar Caribe y las islas de Coche y Cubagua, al sur con el Golfo de Cariaco, al este con la Laguna de Campoma y al oeste con el mar Caribe

A nivel global, la península de Araya-Paria presenta una longitud aproximada de 270 km y un ancho diferenciable entre 4 y 20 km, acorde con González de Juana *et al.* (1980).

1.1.2. Hidrografía

En la península de Araya, los cursos de agua son cortos, principalmente entre Araya y Chacopata. Los más largos están ubicados al sur de la zona montañosa y en la parte oriental de la península, Vargas (2007). Tienen dos direcciones principales: norte-sureste y noreste-suroeste. En el occidente de la península, las lomas rojizas, de perfiles suaves, separado entre sí por quebradas arenosas, generan en conjunto un patrón de drenaje de tipo dendrítico. En estas quebradas se refugian los escasos elementos vegetales (Danielo, 1974)

La red fluvial se encuentra limitada al norte por la depresión de las salinas de Araya con pocos drenajes intermitentes y meandriformes, que recorren las zonas bajas de Araya. Presentan un rumbo N-S, NNO, o NNE desembocan hacia el Mar Caribe.

Las principales redes fluviales parten de los cerros Guaranache y El Macho. Algunos ríos desembocan a la depresión de Araya al oeste o al este llegando a la laguna madre hacia el sur.

En las cercanías a El Rincón, se encuentra el río Guatacaral de forma rectilínea, que desemboca al Mar Caribe, así como la quebrada de Guamache que presenta dos amplios canales de forma meandriforme.

La mayor densidad se presenta al centro y sur. Hacia la zona de Manicuare se presenta un patrón de drenaje subdendríptico con algunos tributarios de rumbo norte-sur a SO, que desembocan hacia el golfo de Cariaco. El arroyo La Represa, arroyo El Carril, cercano a Tacarigua, desembocan hacia la Laguna Madre. Al sur de la Hoja 7347-I-SO Manicuare hacia el poblado de Punta Arena hay pequeños drenajes que nacen en los cerros Punta. Amarilla y Las Cabras, y desembocan al Mar Caribe y al golfo de Cariaco.

Debido a la aridez de la zona los cauces permanecen secos, y se activan en su mayoría en los períodos eventuales de lluvia.

1.1.3. Vegetación

La vegetación es de tipo xerofita, donde dominan los cardonales, espinales, guatapanares o dividives, la retama, el yaque, la cuica (de floración amarilla), el carcamapire entre otros como se muestra en la figura 58. Toda esta vegetación se halla afectada por el fuerte viento y la escasez de agua, zonificados principalmente hacia tierras bajas, cercanas a la costa, también se encuentran cardonales aislados en las laderas, y en el sustrato arenoso donde se desarrollan densas formaciones de tuna. La vegetación no obstaculiza el escurrimiento porque es muy dispersa; como sucede sobre las cuevas de cerro El Macho y cerro Guaranache y en algunas colinas altas y bajas sobre el sustrato metamórfico, (modificado de Vargas 2007).

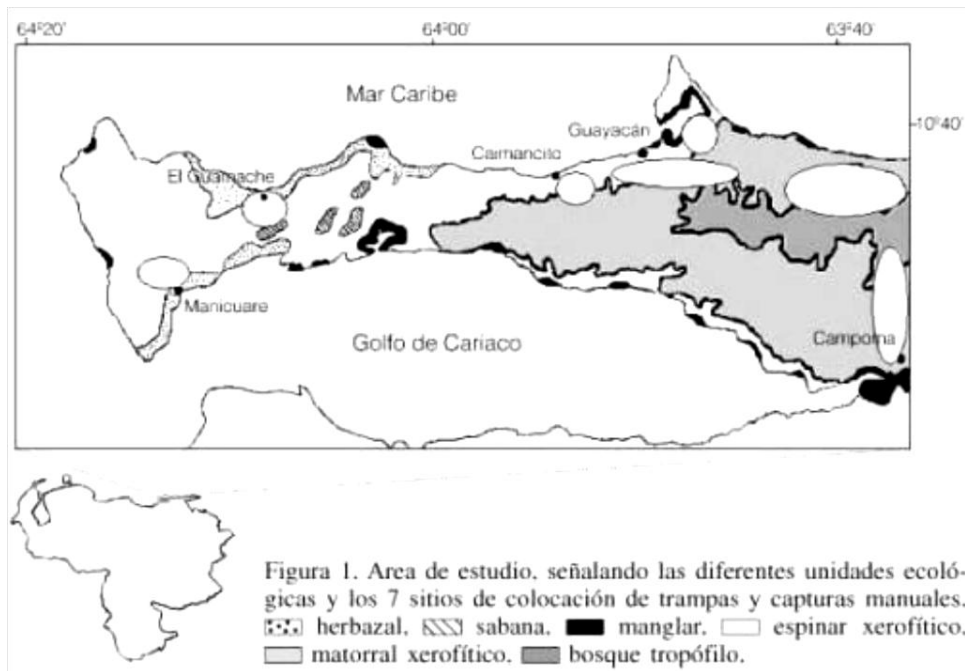


Figura 58. Mapa de los diferentes tipos de ambientes ecológicos vegetación. Tomado de González S. et al., 2004.

1.1.4. Clima

El clima árido y subárido de la península es una consecuencia de la influencia de factores marítimos, continentales y altitudinales. Las precipitaciones son mayores hacia el este de la península y varían entre 500 y 800mm en promedio anual, con una distribución temporal que resulta en seis meses secos. La temperatura promedio anual varía entre 23 y 29°C (Gonzales y Molina, 2004). Vargas (2007), plantea que se presenta un régimen isométrico con escasas variaciones anuales de 1 a 2°C entre el mes más frío y el mes más caliente. la temperatura anual media en Raya es de 27,3°C, con precipitaciones bajas, registrándose 250mm en las salinas.

1.1.5. Suelo

Aguilera (1980) señala que en la península de Araya se presentan los siguientes tipos de suelo:

-
- Chesnut rojizos (afloramientos rocosos): se encuentra en gran parte de la península de Araya. Estos suelos se generan en condiciones de poca lluvia y una meteorización baja.
 - Afloramientos rocosos (lateríticos): se encuentra en el centro y SE de la península. Están formados por materiales lateríticos, generados por la acumulación de hierro: óxidos férricos, y en menor porcentaje, óxidos de aluminio, lo cual es típico de ambientes tropicales, como producto de una alta meteorización. En general, el material rocoso de este suelo en la península se encuentra aflorando sin gran vegetación.
 - Regosoles aluviales: se presentan en el SE de la península, hacia la zona de Campoma. Están formados principalmente por materiales de depósitos aluviales o coluvio-aluviales. Estos son los suelos que presentan un mayor valor agrícola para la población, ya que son suelos fértiles y con poca alteración.

1.1.6. Geomorfología y relieve

Se pueden dividir en dos tipos de relieves que se describen a continuación:

1.1.6.1 Relieve bajo

Abarca aproximadamente un 85% de la zona de estudio. Está representado por cotas cercanas al nivel del mar es decir poca altitud tales como playas, litorales, albúferas, valles y piedemontes, ubicados cerca de la líneas de costa, así como el oeste, centro-norte, y el extremo SE de la península.

Entre Punta Araya y la ciudad de Araya, se observa una la depresión perteneciente a las salinas de Araya, limitada al norte y sur por cerros medianos de 20 m de altitud, como el cerro Redondo, y otros cerros alargados de sentido NE, que corresponden al relieve medio. Alrededor de la Laguna Madre se visualizan rampas de explayamiento y piedemontes, en estas zonas se encuentras cerros bajos y zonas de costa, desde Manicuare hasta Punta Arenas, que limita con el golfo de Cariaco (Hojas

7347-I SO Manicuaire y 7347-IV-SE Araya). Estas regiones bajas se extienden igualmente al NE, entre El Rincón y Las Minas (Hoja 7347-I-NO El Rincón), y llegan hasta la costa norte de la península.

1.1.6.2 Relieve medio de colinas y montañas

Representa un 15% de la zona de estudio, y está conformado por colinas y montañas de relieve medio, con alturas promedio de 80 a 280 m. Al este de la ciudad de Araya se presentan cerros de topes suaves, redondeados, y de cotas cercanas a los 80 m, como los cerros Guaranache y El Macho (Hojas 7347-IV-NE Pta. Araya y 7347-I-NO El Rincón), los cuales son alargados, y presentan un rumbo NE.

En el centro-este de la región, el dominio medio está representado por el sistema montañoso de la zona entre Manicuaire y Taguapire, conformado por montañas que llegan a los 240 m con colinas dispersas redondeadas que tienen 60 a 120 m de altitud. Hacia la zona norte y este de Manicuaire, se presentan colinas de formas redondeadas, con laderas suaves de pendiente baja aproximadamente de 4° con cotas que van entre 40 a 60 m. separados por colinas. En la Hoja 7347-I-SO Manicuaire, se destacan los cerros Barbón, las cabras, el Bobo de 40 m, Barrigón de 180 m de formas alargados.

1.1.7. Unidades sedimentarias cuaternarias sin nombre formal de la península de Araya.

Las descripciones de las unidades ofrecidas a continuación se basan en la información presentada por Danielo (1974), Macsotay & Caraballo (1976), Mujica (2017). Igualmente, las siglas de estas unidades, usadas en los mapas de este trabajo, se tomaron y actualizaron de los trabajos de dichos autores.

a. Litoral-Albúfera (q1q2a-Pleistoceno temprano) (Q2a-Holoceno)

Según Danielo (1974), la albúfera constituye una laguna litoral separada del mar mediante una barra arenosa o cordón litoral. En la Hoja 7347-IV-NE Punta Araya, esta acumulación sedimentaria se encuentra bordeando la costa O. Dicha Hoja representa el único lugar en donde existen depósitos del Pleistoceno temprano (q1q2a), ya que en el resto de la zona sólo se encuentran depósitos del Holoceno (Q2a), con una topografía plana, en donde pasa al S en forma transicional a la unidad de playa antigua (q1q2p1). Según dicho autor, el sedimento de este depósito se compone de arcilla marrón amarillenta, de estructura escamosa, que representa una capa superficial arcillosa, fragmentada en especies de prismas delgados en forma de platillo, debido a la desecación. A nivel más profundo, se presenta una estructura prismática columnar. En las grietas de estos depósitos hay presencia de cristales de sal, que pueden ser producto del esparcimiento eólico.

Danielo (1974) indica que dentro de los depósitos holocenos se destacan los existentes en las cercanías del pueblo de Araya, debido a que se han empleado como salinas artificiales. En esta zona el sedimento es muy fino, de color pardo amarillento, con abundancia de halita.

En la parte N de la Hoja 7347-IV-SE Araya, en las cercanías a la Ensenada de Araya, se presentan algunos cuerpos en contacto con rampas de explayamiento. En la costa central, hacia el interior de la Hoja 7347-I-NO El Rincón, desde la playa de Guaranache hasta Pta. Guatapanare, se presenta este tipo de depósito, el cual aparece en contacto con cuerpos del Miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua, y con rampas de explayamiento. Al E, entra en contacto con parte de la Unidad II del Complejo Manicuaire.

b. Litoral-Playa antigua (q1q2p1-Pleistoceno temprano) (q3q4p2-Pleistoceno medio-tardío)

Danielo (1974), menciona que la playa antigua está formada por barras arenosas y crestas de playa, de 0,5 a 2 m de altura. Además, estas se encuentran parcial o totalmente cubiertas por vegetación, las cuales son evidencia de una antigua línea de costa. Su posición puede ser paralela o subparalela a la línea de playa o costa actual. Estos depósitos tienen su origen en la acumulación de arenas transportadas por ríos que desembocan en el mar, en donde también interviene de la deriva de corrientes marinas que se presentan paralelas a la línea de costa, la cual es capaz de movilizar material sedimentario acumulado en la zona adyacente a la desembocadura de los ríos.

Mujica (2017) da a conocer que los depósitos más antiguos, del Pleistoceno Temprano (q1q2p1), afloran en la Hoja 7347-IV-NE Punta Araya, donde se presentan como una gran franja que comienza en el N, en las cercanías del cerro Redondo, y continúa a través de las Salinas Artificiales, en donde llega hasta el S, en Punta de Piedra. Estos depósitos se encuentran en contacto con rampas de explayamiento en la parte interna de la costa, y más cercano a la costa con albuferas litorales. Las acumulaciones de playa antigua en esta zona, según Danielo (1974), presentan una pendiente variable entre 2 a 3%. La sedimentación está conformada por un estrato en la base, de más de 1 m de profundidad, de coquina poco a medianamente consolidada, con presencia de conchas de gasterópodos y bivalvos, y corresponde a un depósito bajo de playa. Luego, se encuentra un estrato intermedio, a 0,8-1 m de profundidad, con un espesor de 20 cm, formado por sedimentos arcillosos de color marrón amarillento con gravas de cuarcita. Además, las arenas presentes son finas a muy finas, lo que las identifica como material de playa. Estas acumulaciones señalan que la sedimentación litoral ha pasado en forma progresiva de un dominio a uno subaéreo.

En la Hoja 7347-I-SO Manicuaire, estos depósitos litorales de playa antigua se ubican en la costa S, desde Pta. Arenas hasta el N de Pta. del Morro, y entran en contacto con los miembros Cerro Negro y Cerro Verde de la Formación Cubagua, y con algunas rampas de explayamiento. Esto corresponde a los depósitos más recientes del Pleistoceno medio-tardío (q3q4p2).

c. Piedemonte-Rampas de explayamiento (Qr, q4r3, q3r2, q1q2r1) (Pleistoceno temprano a tardío, Cuaternario sin diferenciar).

Viers (1974), representan amplias llanuras que yacen sobre la base de relieves montañosos, con buzamientos que disminuyen paulatinamente a medida que la topografía llega a las zonas bajas o costeras, con lo cual pasan de pendientes de 8% a 2-1% para el caso de rampas largas, y se mantienen entre 8-5% para rampas más cortas.

En estas rampas, los drenajes presentan aluviones que transportan material sedimentario de las cotas más elevadas a las más bajas, a nivel longitudinal, y de las zonas laterales de dichos aluviones, a nivel lateral.

En la zona de estudio, se presentan rampas de explayamiento con características similares a las antes descritas, tales como las presentes en las adyacencias del cerro Guaranache, y al N del mismo.

Mujica (2017) menciona que en la Hoja 7347-IV-NE Punta Araya, las rampas más antiguas (q1q2r1, del Pleistoceno temprano) se encuentran al S del mapa, entre Araya y el cerro El Cacho, en donde están en contacto con albúferas y rampas más recientes. Las rampas de edad posterior (q4r3, Pleistoceno tardío) se presentan en la zona central de la Hoja, entre el cerro Guaranache y cerro Redondo al N. Se encuentran en contacto con otras rampas y playas antiguas litorales. A su vez, se presentan rampas de explayamiento más recientes o sin diferenciar (Qr, Cuaternario sin diferenciar) en la zona N de la Hoja, entre cerro Redondo y Pta. Escarcedo, las

cuales entran en contacto con la Formación Barrigón presente en dicho cerro, y al O con albúferas de litoral.

Por su parte, en la Hoja 7347-IV-SE Araya, los depósitos más antiguos (q1q2r1, Pleistoceno temprano) se presentan al N, entre el Castillo de Araya y el pueblo de Araya, en donde estos depósitos entran en contacto con la Formación Castillo de Araya al S, y algunos depósitos aislados de albúferas, en la costa N. Las rampas más recientes (q4r3, Pleistoceno tardío) se encuentran en el extremo costero S de la hoja, cercano a La Cantera, y aparecen en contacto con el miembro Cerro Negro de la Formación Cubagua al N, y en contacto con un cuerpo pequeño de la Formación Castillo de Araya, al S.

A su vez, en la Hoja 7347-I-NO El Rincón, la rampa de explayamiento más antigua (q1q2r1, Pleistoceno temprano) aflora ampliamente en la zona central, desde las adyacencias de la Laguna Madre, al S, hasta Pta. Guachi y Pta. Guatapanare, en la costa central. Estos depósitos se encuentran en contacto con ambos miembros de la

En cuanto a esta zona, Danielo (1974) señala que posiblemente estos depósitos se originaron en las contracuestas de dichos cerros y de sus drenajes asociados. Dicho autor indica que en esta región los suelos desarrollados en estos medios de acumulación evolucionaron bajo condiciones climáticas más húmedas que las actuales, lo que propició las concreciones e iluviación de arcillas. En la Hoja de El Rincón las rampas q4r3 aparecen en contacto geológico con otras rampas vecinas, con los miembros de la Formación Cubagua, y con la Formación Barrigón en la costa. Al N de los cerros mencionados, se encuentran las otras rampas sin diferenciar (Qr, Cuaternario sin diferenciar).

d. Piedemonte-Explayamientos (Qe, q3e2) (Pleistoceno medio, Cuaternario sin diferenciar)

Según Danielo (1974), los explayamientos representan formas de escurrimiento superficial, originados por el drenaje de las aguas en multitud de surcos que no presentan un cauce definido.

e. Sedimentos marinos y continentales (Q2mc) (Holoceno)

Este tipo de depósito está representado por aluviones marinos y continentales, aflorantes en la zona centro-sureste de la península de Araya estos depósitos afloran al N de la Ensenada Rincón Hondo, en donde se encuentran en contacto con las formaciones antes mencionadas y con albúferas litorales.

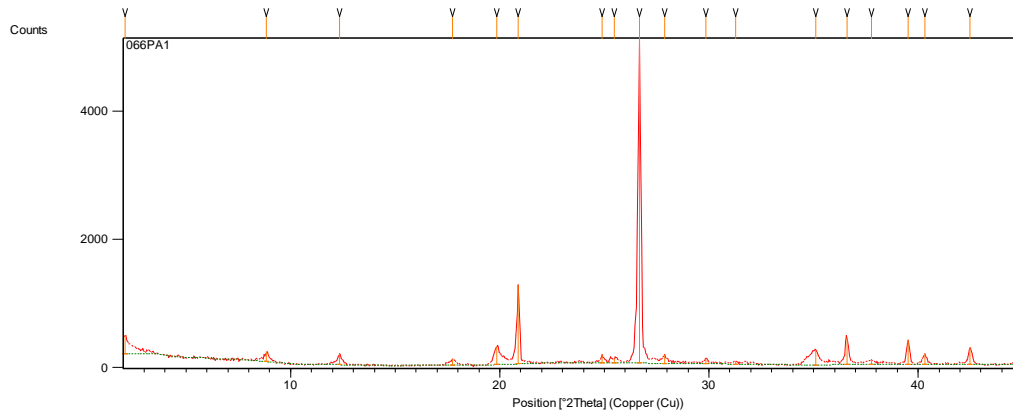
f. Valle coluvio-aluvial (Qca) (Cuaternario sin diferenciar)

Mujica (2017) lo ubica en el NE de la Hoja 7347-I-NO El Rincón, cercano a El Guamache, se presenta un depósito mediano, alargado, que está en contacto geológico con las unidades II y III del Complejo Manicuare. Por su parte, al NO de la Hoja 7347-I-SO Manicuare, en el S de Laguna Madre, se encuentra un pequeño depósito de este tipo embebido en una rampa de explayamiento.

APÉNDICE 2

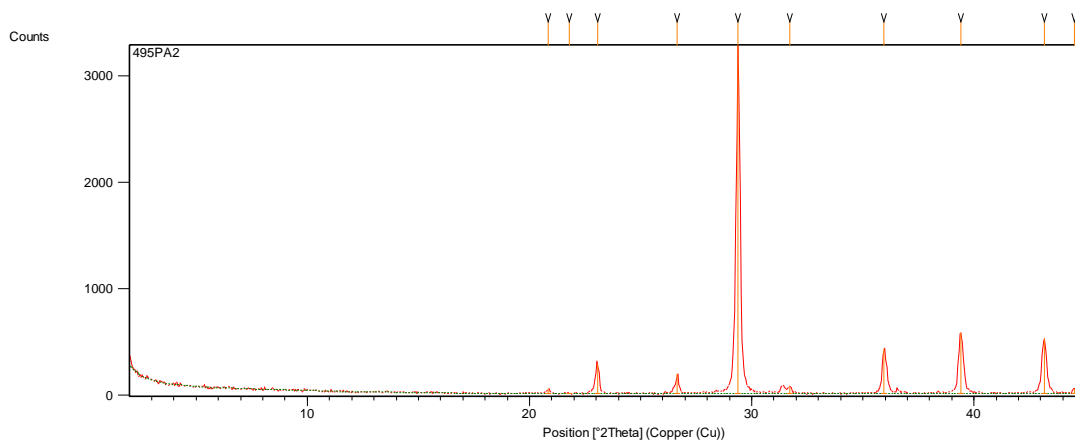
Resultados de análisis de DRX de roca total

Muestra PA-1



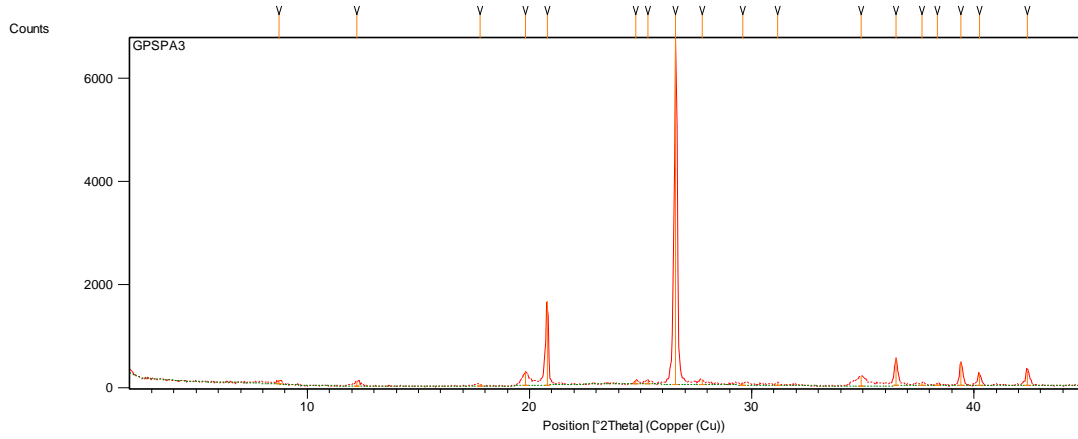
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
2,0874	300,24	0,1476	42,32484	5,92
8,8377	154,70	0,1476	10,00605	3,05
12,3368	175,25	0,1476	7,17478	3,45
17,7522	101,92	0,1476	4,99642	2,01
19,8474	282,07	0,2460	4,47344	5,56
20,8799	1241,20	0,1968	4,25451	24,47
24,8819	123,96	0,1476	3,57854	2,44
25,4639	67,68	0,2952	3,49805	1,33
26,6755	5073,00	0,1968	3,34186	100,00
27,8781	140,48	0,1968	3,20037	2,77
29,8554	86,73	0,1476	2,99277	1,71
31,2696	58,20	0,1476	2,86057	1,15
35,0912	233,07	0,2952	2,55731	4,59
36,5962	431,87	0,1968	2,45552	8,51
37,7540	70,50	0,3936	2,38283	1,39
39,5201	381,85	0,1968	2,28032	7,53
40,3142	169,19	0,1968	2,23723	3,34
42,4934	265,21	0,2400	2,12564	5,23

Muestra PA-2



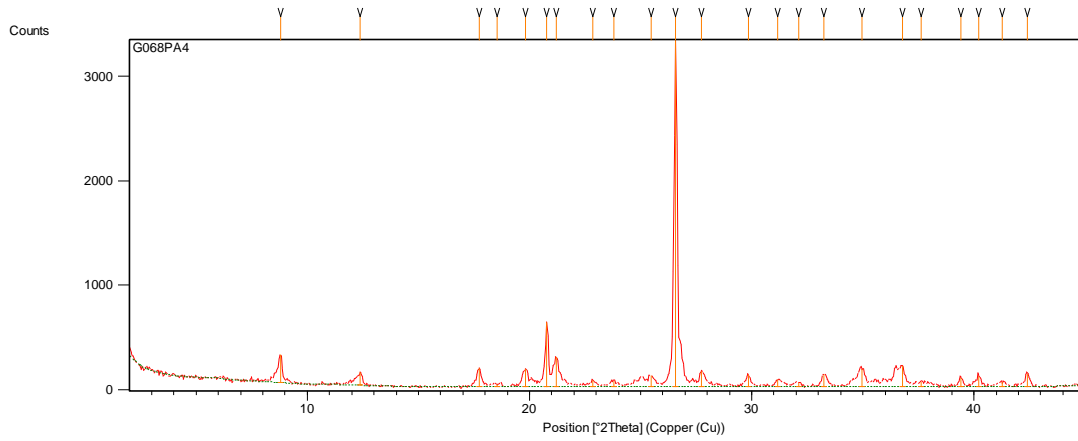
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20,8582	43,58	0,1968	4,25888	1,32
21,7776	5,29	0,3444	4,08111	0,16
23,0517	280,14	0,1968	3,85835	8,49
26,6530	191,46	0,1476	3,34463	5,80
29,3841	3300,20	0,1968	3,03969	100,00
31,7096	70,08	0,1476	2,82187	2,12
35,9622	418,54	0,1968	2,49734	12,68
39,4040	577,18	0,2460	2,28678	17,49
43,1585	523,15	0,1968	2,09615	15,85
44,5366	46,27	0,3000	2,03275	1,40

Muestra PA-3



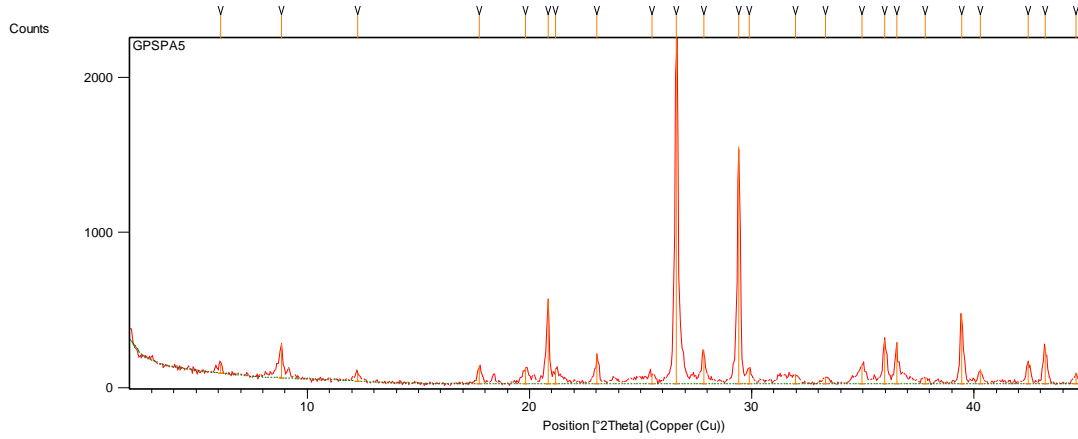
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7402	80,00	0,1476	10,11745	1,19
12,2456	89,18	0,1968	7,22803	1,32
17,7576	38,88	0,2460	4,99489	0,58
19,8223	273,45	0,2952	4,47904	4,06
20,7856	1638,09	0,1476	4,27359	24,33
24,7751	72,88	0,1476	3,59372	1,08
25,3439	60,00	0,1968	3,51435	0,89
26,5806	6732,11	0,1968	3,35357	100,00
27,7610	102,43	0,1476	3,21361	1,52
29,5875	34,23	0,5904	3,01926	0,51
31,1477	53,68	0,1476	2,87148	0,80
34,9086	200,90	0,2460	2,57026	2,98
36,4911	532,22	0,1476	2,46235	7,91
37,6516	53,33	0,2952	2,38908	0,79
38,3663	40,25	0,3936	2,34621	0,60
39,4218	455,16	0,1968	2,28579	6,76
40,2488	233,78	0,1968	2,24071	3,47
42,4169	293,60	0,2400	2,12930	4,36

Muestra PA- 4



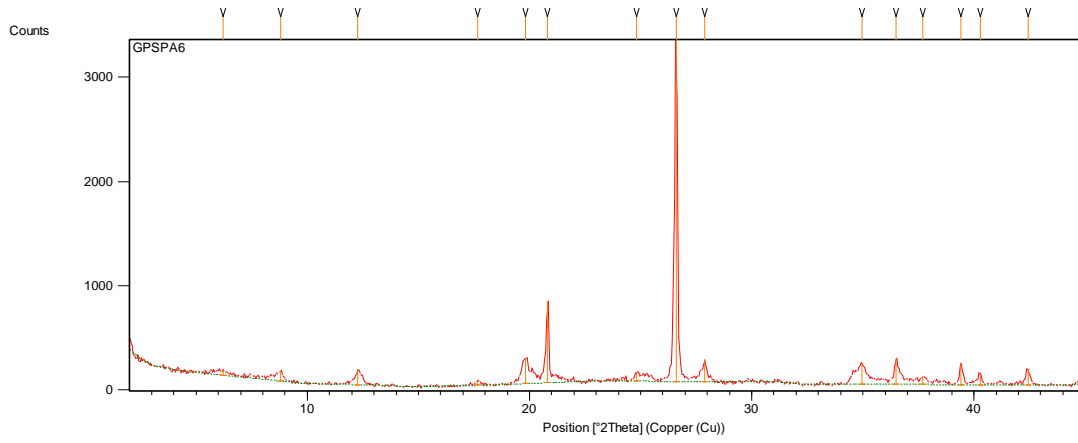
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7873	267,54	0,1968	10,06338	8,05
12,3882	123,37	0,3444	7,14514	3,71
17,7273	179,46	0,1968	5,00336	5,40
18,5573	28,36	0,2952	4,78142	0,85
19,8177	173,53	0,1968	4,48008	5,22
20,7764	622,92	0,1476	4,27547	18,74
21,1951	290,47	0,1968	4,19194	8,74
22,8472	66,59	0,1968	3,89242	2,00
23,8031	54,05	0,2952	3,73822	1,63
25,4593	109,12	0,1476	3,49868	3,28
26,5728	3323,80	0,1968	3,35454	100,00
27,7500	146,90	0,1968	3,21486	4,42
29,8422	115,69	0,1968	2,99406	3,48
31,1470	69,02	0,1968	2,87155	2,08
32,1157	41,04	0,2952	2,78712	1,23
33,2526	114,05	0,2460	2,69438	3,43
34,9542	170,90	0,2460	2,56701	5,14
36,7938	197,05	0,1968	2,44278	5,93
37,6158	48,92	0,4920	2,39127	1,47
39,4142	86,71	0,1476	2,28621	2,61
40,2198	98,66	0,1968	2,24226	2,97
41,2870	47,74	0,3936	2,18673	1,44
42,4059	122,04	0,3000	2,12982	3,67

Muestra PA-5



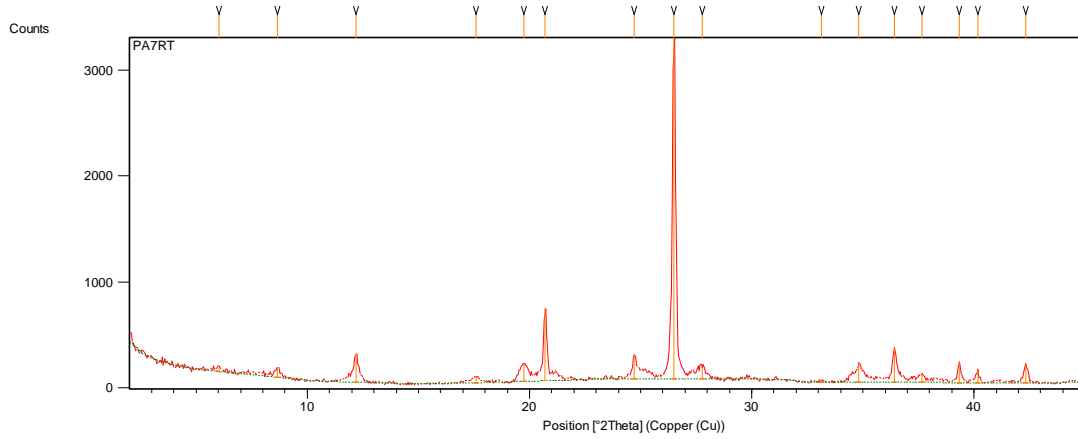
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,1034	63,80	0,1476	14,48119	2,83
8,8294	220,72	0,1476	10,01549	9,79
12,2617	57,89	0,1968	7,21852	2,57
17,7371	112,71	0,1476	5,00064	5,00
19,8309	107,67	0,1968	4,47712	4,78
20,8228	544,02	0,1476	4,26605	24,13
21,1844	99,42	0,1476	4,19404	4,41
23,0414	190,62	0,1968	3,86006	8,45
25,4966	66,47	0,2952	3,49365	2,95
26,6111	2254,73	0,1476	3,34980	100,00
27,8277	217,20	0,1968	3,20606	9,63
29,4166	1531,61	0,1476	3,03640	67,93
29,8756	106,69	0,1476	2,99079	4,73
31,9526	53,32	0,3936	2,80096	2,36
33,3318	40,12	0,3936	2,68815	1,78
34,9765	118,73	0,2952	2,56543	5,27
35,9992	286,26	0,1476	2,49486	12,70
36,5208	266,90	0,1476	2,46042	11,84
37,8039	35,17	0,1968	2,37981	1,56
39,4405	455,97	0,1476	2,28475	20,22
40,2742	91,12	0,1968	2,23935	4,04
42,4464	137,35	0,1968	2,12965	6,09
43,1968	240,68	0,1968	2,09438	10,67
44,5874	66,81	0,2400	2,03055	2,96

Muestra PA-6



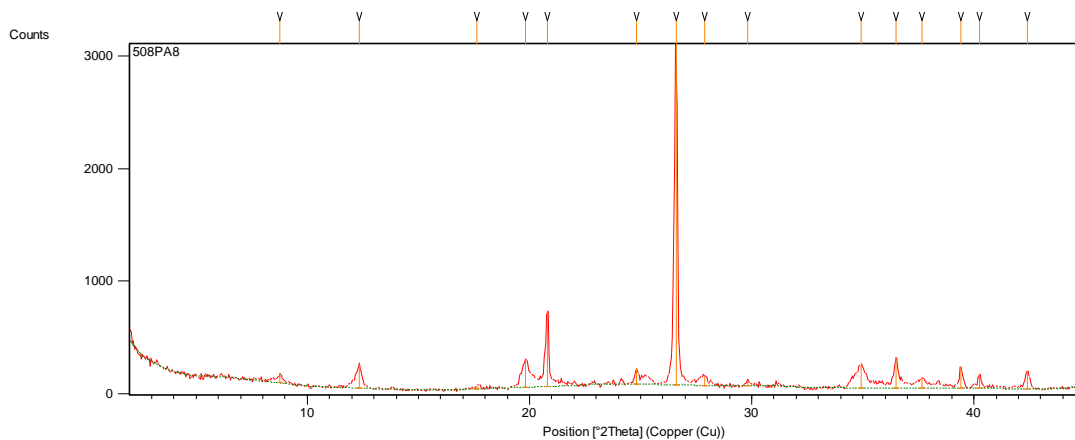
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,1925	42,09	0,6888	14,27295	1,26
8,8184	99,69	0,2952	10,02791	2,98
12,2818	146,04	0,2460	7,20680	4,37
17,6778	47,45	0,1968	5,01727	1,42
19,8170	232,93	0,2952	4,48024	6,97
20,8071	782,41	0,1476	4,26922	23,41
24,8260	78,17	0,1476	3,58648	2,34
26,5909	3342,50	0,1476	3,35230	100,00
27,8938	208,71	0,1968	3,19861	6,24
34,9632	201,28	0,1476	2,56637	6,02
36,5076	253,57	0,1476	2,46127	7,59
37,6838	65,79	0,2460	2,38711	1,97
39,4270	209,30	0,1968	2,28550	6,26
40,2705	109,93	0,1476	2,23955	3,29
42,4250	147,71	0,2400	2,12891	4,42

Muestra PA-7



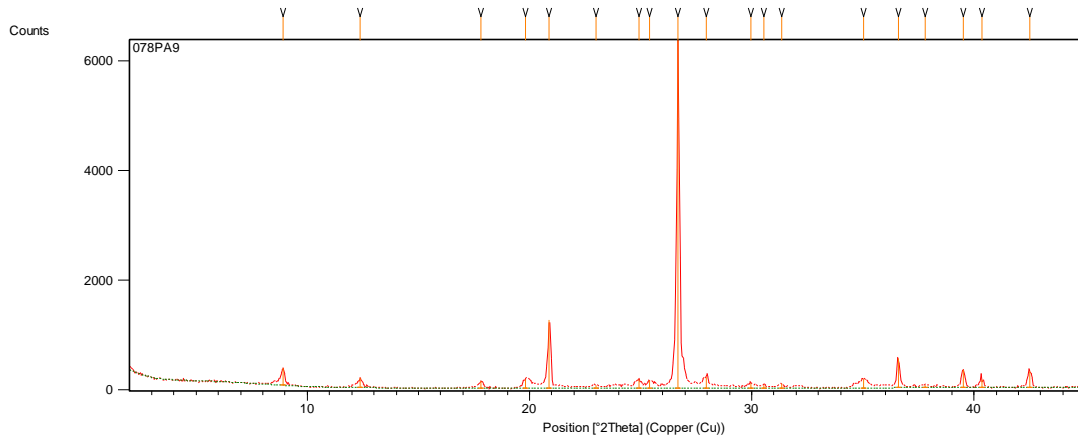
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,0258	35,12	0,5904	14,66758	1,06
8,6685	93,24	0,1968	10,20100	2,81
12,2023	271,28	0,1968	7,25353	8,18
17,5979	57,14	0,2952	5,03986	1,72
19,7290	169,06	0,3936	4,50002	5,10
20,7113	686,69	0,1476	4,28875	20,70
24,7166	227,47	0,1968	3,60210	6,86
26,5070	3317,55	0,1476	3,36273	100,00
27,7767	106,51	0,1476	3,21182	3,21
33,1417	16,54	0,5904	2,70314	0,50
34,8262	180,98	0,2460	2,57615	5,46
36,4236	328,93	0,1968	2,46676	9,91
37,6752	88,65	0,2460	2,38764	2,67
39,3395	195,86	0,1476	2,29038	5,90
40,1640	126,26	0,1476	2,24524	3,81
42,3385	177,21	0,2400	2,13306	5,34

Muestra PA-8



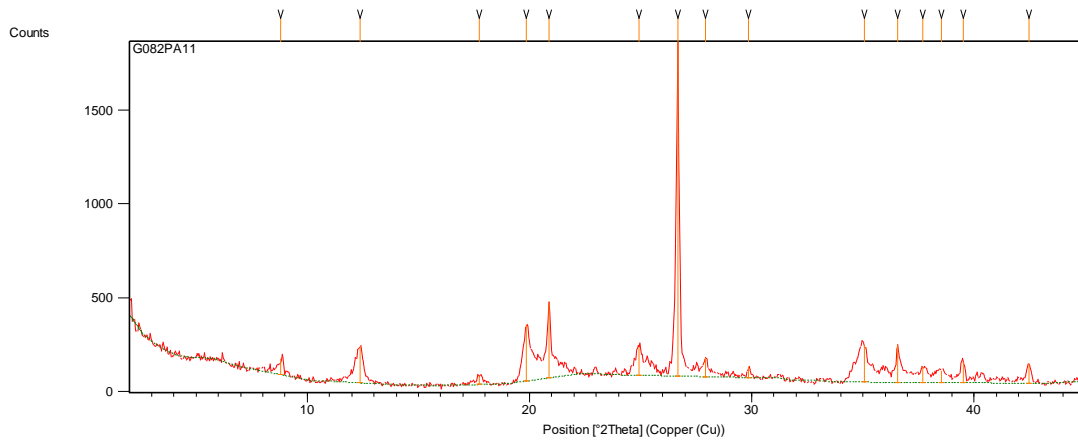
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7724	84,95	0,1968	10,08037	2,79
12,3352	215,80	0,1968	7,17568	7,08
17,6429	29,71	0,2952	5,02712	0,97
19,8295	251,64	0,3444	4,47745	8,25
20,7881	679,24	0,1476	4,27309	22,27
24,8160	139,85	0,1476	3,58790	4,59
26,5870	3049,79	0,1968	3,35278	100,00
27,8888	76,06	0,2952	3,19917	2,49
29,8198	40,59	0,2952	2,99626	1,33
34,9134	210,19	0,2460	2,56992	6,89
36,4995	272,64	0,1968	2,46180	8,94
37,6744	94,08	0,2460	2,38769	3,08
39,4213	191,78	0,1968	2,28581	6,29
40,2578	129,47	0,1476	2,24023	4,25
42,4133	157,07	0,2400	2,12947	5,15

Muestra PA-9



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,9133	319,35	0,1476	9,92132	5,00
12,3883	181,45	0,1968	7,14506	2,84
17,8226	137,21	0,1968	4,97684	2,15
19,8187	164,51	0,2952	4,47986	2,58
20,8913	1250,53	0,1476	4,25221	19,58
23,0027	55,50	0,2952	3,86646	0,87
24,9287	163,86	0,1968	3,57192	2,57
25,4123	136,79	0,1968	3,50505	2,14
26,6815	6385,56	0,1968	3,34112	100,00
27,9432	201,37	0,1476	3,19307	3,15
29,9634	89,98	0,1968	2,98223	1,41
30,5311	59,61	0,1476	2,92806	0,93
31,3329	83,98	0,1476	2,85493	1,32
35,0373	177,22	0,2460	2,56111	2,78
36,5941	538,16	0,1476	2,45565	8,43
37,8015	57,36	0,2952	2,37995	0,90
39,5185	330,68	0,1476	2,28041	5,18
40,3500	153,99	0,1968	2,23532	2,41
42,5070	302,77	0,2400	2,12499	4,74

Muestra PA-10

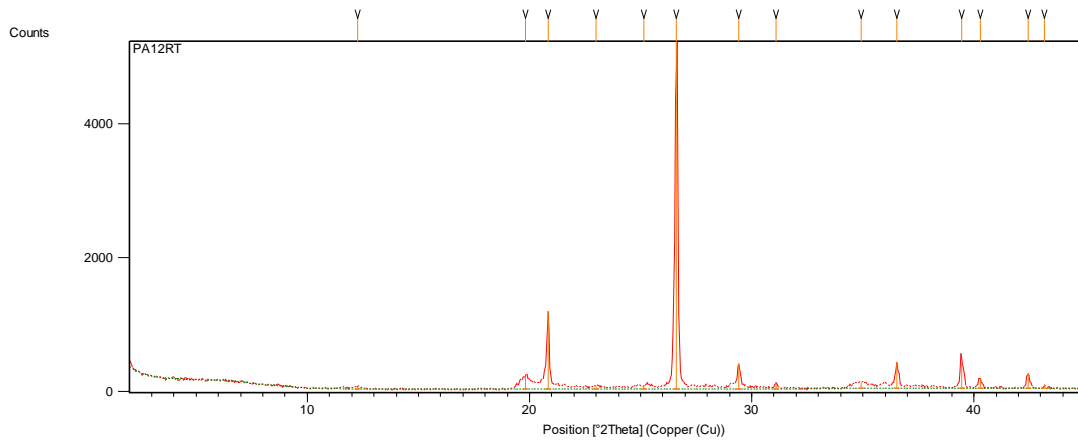


Sample Identification

GPS082 PA-11

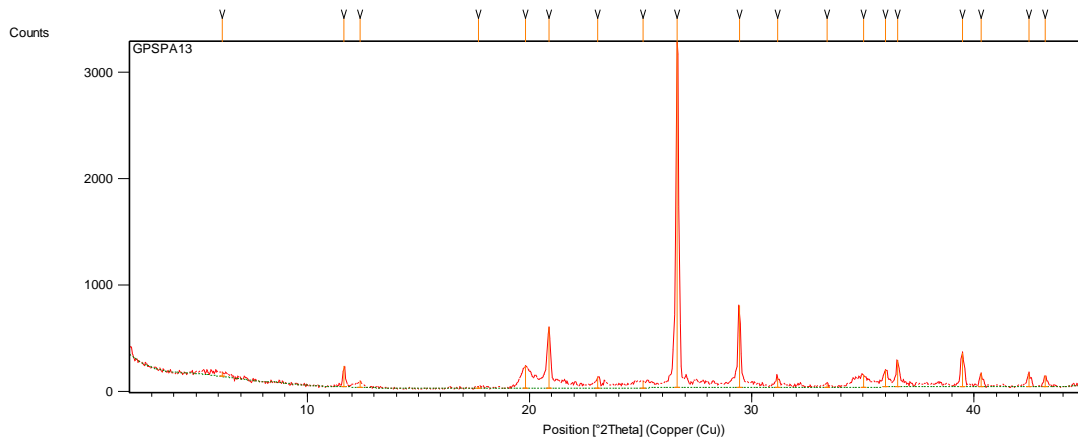
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,8102	86,64	0,2952	10,03723	4,83
12,3752	194,16	0,2952	7,15262	10,83
17,7559	49,88	0,1968	4,99536	2,78
19,8730	301,56	0,2952	4,46774	16,82
20,8698	401,69	0,1476	4,25654	22,41
24,9195	150,26	0,2460	3,57323	8,38
26,6686	1792,43	0,1476	3,34271	100,00
27,9250	103,46	0,1476	3,19511	5,77
29,8674	57,86	0,1968	2,99159	3,23
35,0520	195,44	0,2952	2,56007	10,90
36,5750	201,03	0,1968	2,45689	11,22
37,6953	85,85	0,2460	2,38641	4,79
38,5394	66,73	0,3444	2,33606	3,72
39,5118	114,11	0,1476	2,28079	6,37
42,4660	101,32	0,2400	2,12695	5,65

Muestra PA-12



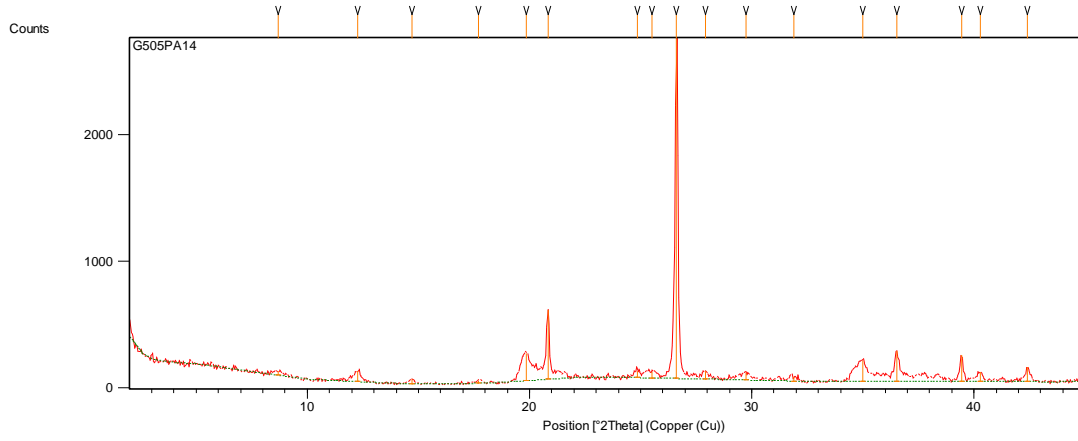
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12,2637	37,71	0,2952	7,21736	0,71
19,8107	197,93	0,1476	4,48165	3,74
20,8314	1170,29	0,1476	4,26429	22,14
23,0042	54,83	0,2952	3,86621	1,04
25,1383	55,16	0,5904	3,54262	1,04
26,6141	5285,52	0,1476	3,34944	100,00
29,4179	374,24	0,1476	3,03628	7,08
31,0883	89,03	0,1476	2,87684	1,68
34,9120	89,51	0,7872	2,57002	1,69
36,5319	384,22	0,1968	2,45969	7,27
39,4598	395,17	0,1476	2,28367	7,48
40,2705	148,67	0,1968	2,23955	2,81
42,4331	217,38	0,1968	2,13028	4,11
43,1821	58,84	0,1800	2,09332	1,11

Muestra PA-13



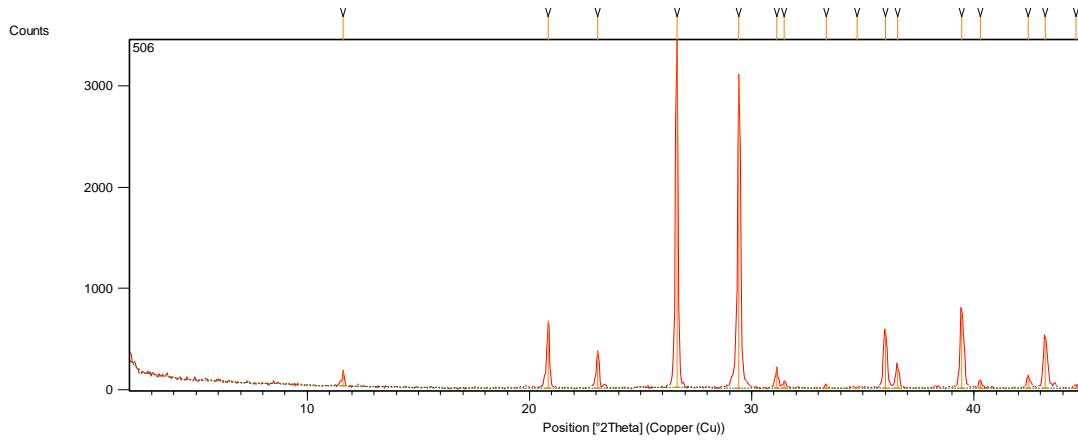
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,1616	38,51	0,5904	14,34450	1,15
11,6600	197,86	0,1476	7,58965	5,89
12,3808	60,47	0,2460	7,14939	1,80
17,7000	15,09	0,5904	5,01104	0,45
19,8145	209,63	0,4920	4,48079	6,24
20,8687	575,09	0,1476	4,25676	17,12
23,0779	106,72	0,1476	3,85403	3,18
25,0922	61,33	0,5904	3,54902	1,83
26,6567	3359,94	0,1476	3,34418	100,00
29,4380	773,32	0,1476	3,03425	23,02
31,1536	93,94	0,1476	2,87096	2,80
33,3985	26,15	0,2952	2,68294	0,78
35,0260	114,99	0,6888	2,56191	3,42
36,0176	161,93	0,1476	2,49363	4,82
36,5623	251,27	0,1476	2,45772	7,48
39,4839	321,69	0,1968	2,28234	9,57
40,3341	127,21	0,1968	2,23617	3,79
42,4903	128,39	0,1968	2,12755	3,82
43,2077	104,43	0,1800	2,09214	3,11

Muestra PA-14



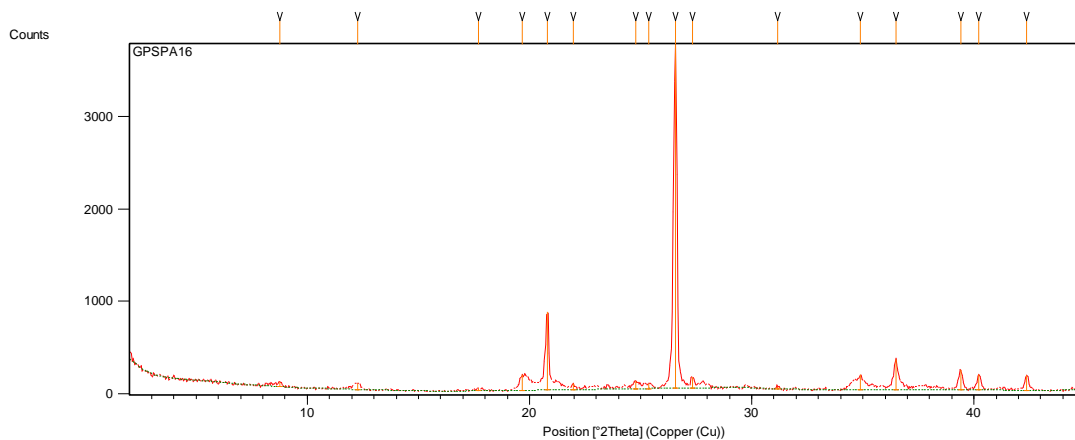
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,6755	31,52	0,5904	10,19278	1,16
12,2791	82,14	0,2460	7,20835	3,03
14,7143	34,63	0,1968	6,02042	1,28
17,7140	20,86	0,5904	5,00711	0,77
19,8589	219,64	0,3936	4,47088	8,10
20,8278	548,43	0,1476	4,26503	20,23
24,8559	53,02	0,1968	3,58223	1,96
25,5110	51,97	0,3936	3,49171	1,92
26,6174	2710,96	0,1476	3,34902	100,00
27,9062	62,00	0,2952	3,19721	2,29
29,7374	57,66	0,3936	3,00437	2,13
31,8769	33,98	0,3936	2,80744	1,25
34,9803	165,57	0,2460	2,56516	6,11
36,5244	242,47	0,1476	2,46018	8,94
39,4369	209,72	0,1968	2,28494	7,74
40,2741	81,23	0,1968	2,23936	3,00
42,3933	116,61	0,2400	2,13043	4,30

Muestra PA-15



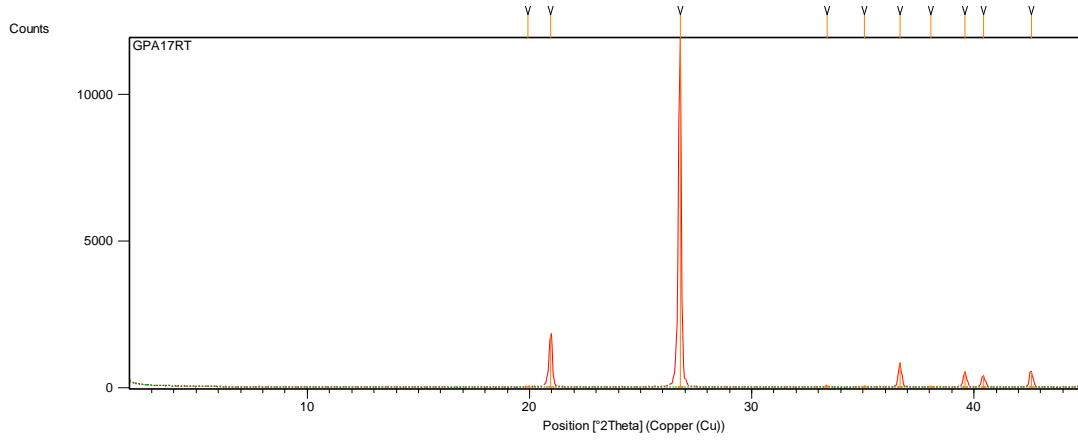
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11,6074	143,23	0,1476	7,62392	4,17
20,8434	673,05	0,1476	4,26188	19,60
23,0643	363,21	0,1476	3,85627	10,58
26,6254	3433,92	0,1968	3,34804	100,00
29,4311	3083,23	0,1968	3,03494	89,79
31,1167	200,86	0,1476	2,87428	5,85
31,4678	70,12	0,1476	2,84300	2,04
33,3600	20,40	0,1476	2,68594	0,59
34,7531	14,63	0,5904	2,58140	0,43
36,0117	587,19	0,1476	2,49402	17,10
36,5558	211,59	0,1476	2,45814	6,16
39,4599	749,21	0,1968	2,28367	21,82
40,2878	73,95	0,1476	2,23863	2,15
42,4538	105,25	0,1476	2,12929	3,07
43,2150	487,19	0,1968	2,09354	14,19
44,6094	19,09	0,2400	2,02960	0,56

Muestra PA-16



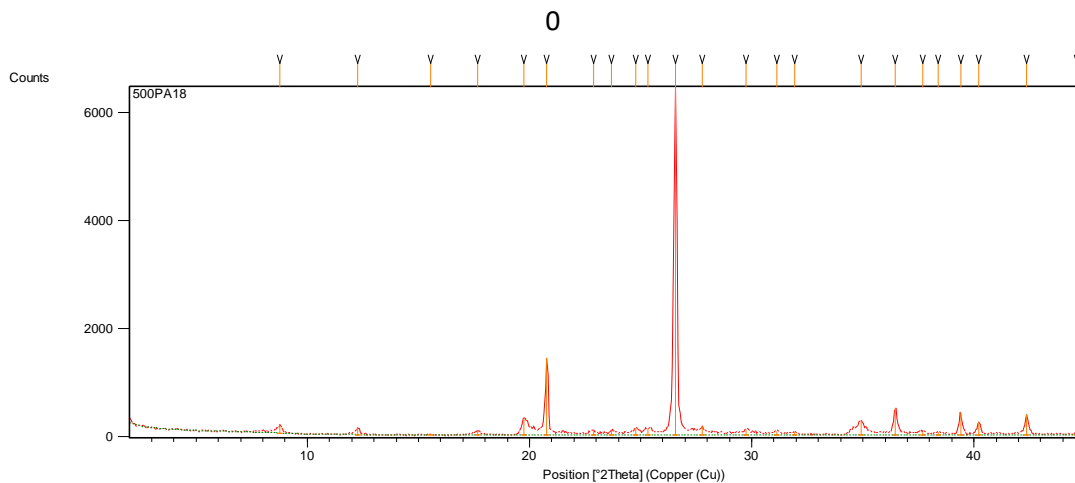
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7708	50,57	0,1476	10,08227	1,32
12,2575	66,82	0,3936	7,22100	1,75
17,7036	28,22	0,2952	5,01001	0,74
19,6691	169,82	0,1968	4,51358	4,45
20,7889	850,60	0,1476	4,27293	22,27
21,9750	67,30	0,1476	4,04490	1,76
24,7639	83,68	0,1476	3,59533	2,19
25,3570	53,85	0,2952	3,51256	1,41
26,5601	3819,99	0,1476	3,35612	100,00
27,3405	116,73	0,0984	3,26207	3,06
31,1713	23,59	0,2952	2,86937	0,62
34,8805	162,95	0,1476	2,57227	4,27
36,4823	334,58	0,1968	2,46292	8,76
39,4019	219,29	0,1968	2,28689	5,74
40,2286	166,30	0,1968	2,24178	4,35
42,3601	167,09	0,2400	2,13202	4,37

Muestra PA-17



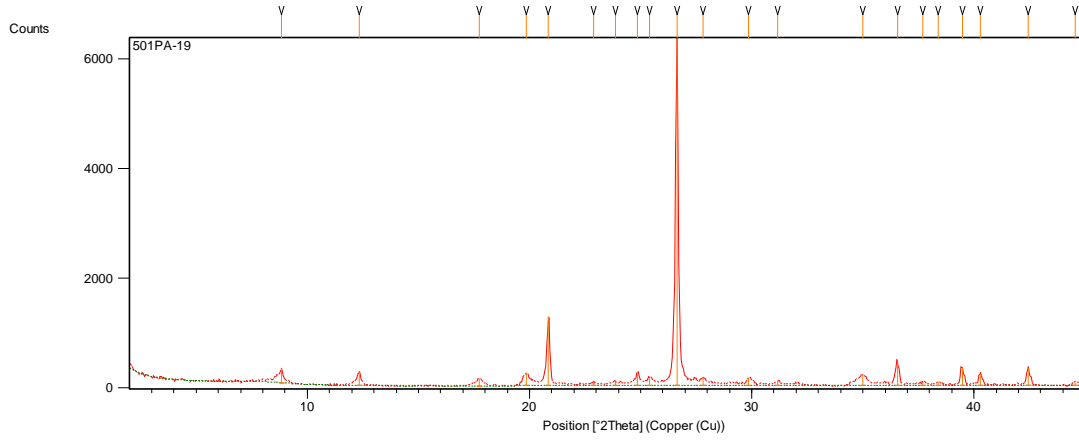
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
19,9392	23,69	0,3936	4,45305	0,20
20,9603	1835,62	0,1476	4,23836	15,36
26,7702	11952,25	0,1968	3,33026	100,00
33,3996	92,73	0,1476	2,68285	0,78
35,0768	22,65	0,5904	2,55832	0,19
36,6733	838,23	0,1968	2,45053	7,01
38,0777	47,98	0,1476	2,36332	0,40
39,5989	531,14	0,1968	2,27597	4,44
40,4151	394,75	0,1968	2,23187	3,30
42,5738	542,79	0,2400	2,12181	4,54

Muestra PA-18



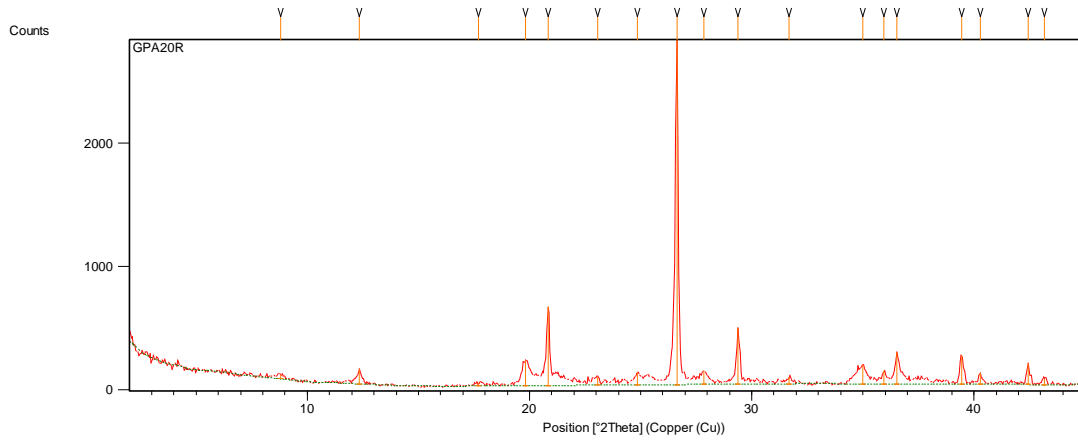
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7784	161,94	0,1968	10,07357	2,48
12,2782	122,36	0,1968	7,20889	1,87
15,5421	20,69	0,2460	5,70156	0,32
17,6683	75,75	0,1968	5,01995	1,16
19,7531	310,27	0,2460	4,49458	4,75
20,7769	1427,72	0,1476	4,27537	21,85
22,8699	90,59	0,1968	3,88861	1,39
23,6978	86,35	0,1968	3,75461	1,32
24,7921	138,31	0,1476	3,59129	2,12
25,3425	126,51	0,2952	3,51454	1,94
26,5652	6533,42	0,1476	3,35548	100,00
27,7808	164,54	0,1968	3,21136	2,52
29,7535	108,91	0,2952	3,00279	1,67
31,1393	76,50	0,2952	2,87225	1,17
31,9304	60,20	0,2952	2,80286	0,92
34,9189	272,58	0,1968	2,56953	4,17
36,4589	505,53	0,1476	2,46445	7,74
37,6814	68,92	0,2952	2,38726	1,05
38,4009	61,63	0,3936	2,34417	0,94
39,3954	424,29	0,1476	2,28726	6,49
40,2072	247,13	0,1476	2,24293	3,78
42,3615	383,56	0,1968	2,13372	5,87
44,6370	73,54	0,1800	2,02841	1,13

Muestra PA-19



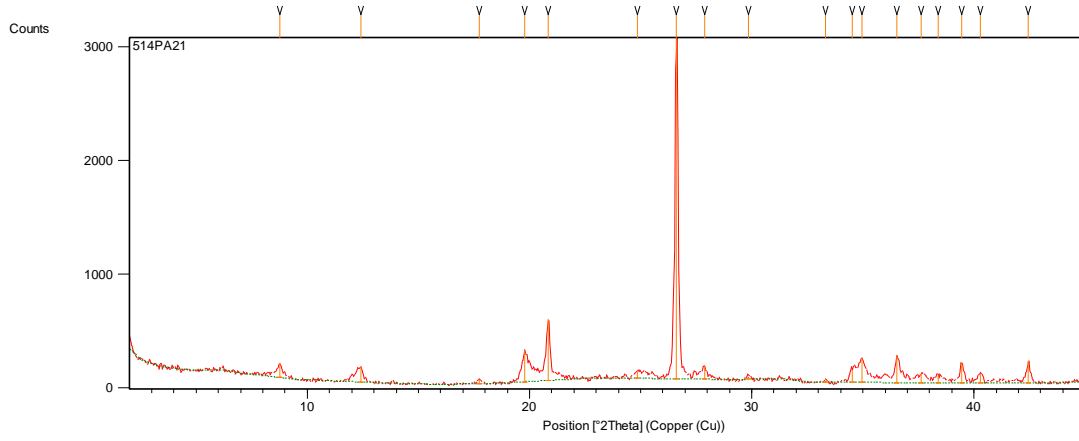
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,8340	255,67	0,1968	10,01025	4,03
12,3244	250,75	0,1968	7,18194	3,95
17,7529	135,35	0,1968	4,99621	2,13
19,8537	225,73	0,2460	4,47203	3,56
20,8489	1271,93	0,1476	4,26077	20,06
22,8782	63,84	0,2952	3,88721	1,01
23,8793	63,18	0,3936	3,72647	1,00
24,8618	259,89	0,1476	3,58138	4,10
25,4104	136,18	0,2952	3,50530	2,15
26,6299	6340,44	0,1968	3,34748	100,00
27,7919	153,69	0,1968	3,21010	2,42
29,8610	127,53	0,2952	2,99222	2,01
31,1700	72,97	0,1476	2,86948	1,15
35,0087	200,15	0,2460	2,56314	3,16
36,5487	459,41	0,1968	2,45860	7,25
37,7084	67,81	0,2952	2,38561	1,07
38,3908	79,21	0,1476	2,34476	1,25
39,4666	334,49	0,1476	2,28330	5,28
40,2981	223,15	0,1476	2,23808	3,52
42,4471	334,73	0,1968	2,12961	5,28
44,5448	64,34	0,3000	2,03240	1,01

Muestra PA-20



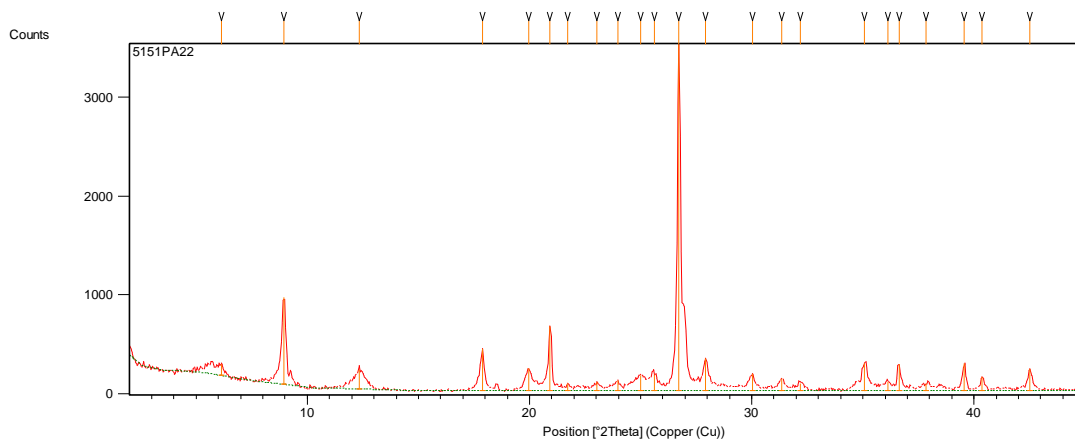
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7889	38,44	0,2952	10,06146	1,37
12,3336	121,63	0,1968	7,17666	4,35
17,7159	25,84	0,2952	5,00656	0,92
19,8173	205,84	0,2952	4,48017	7,36
20,8376	646,17	0,1476	4,26305	23,11
23,0568	76,17	0,2460	3,85751	2,72
24,8667	104,16	0,1968	3,58070	3,72
26,6266	2796,46	0,1968	3,34788	100,00
27,8601	105,43	0,2460	3,20240	3,77
29,3906	456,49	0,1476	3,03903	16,32
31,6869	53,71	0,1476	2,82384	1,92
34,9975	152,94	0,3444	2,56394	5,47
35,9592	110,40	0,1476	2,49754	3,95
36,5324	259,70	0,1968	2,45966	9,29
39,4353	239,30	0,1476	2,28504	8,56
40,2790	94,37	0,1968	2,23910	3,37
42,4314	171,28	0,1968	2,13036	6,12
43,1768	48,43	0,2400	2,09356	1,73

Muestra PA-21



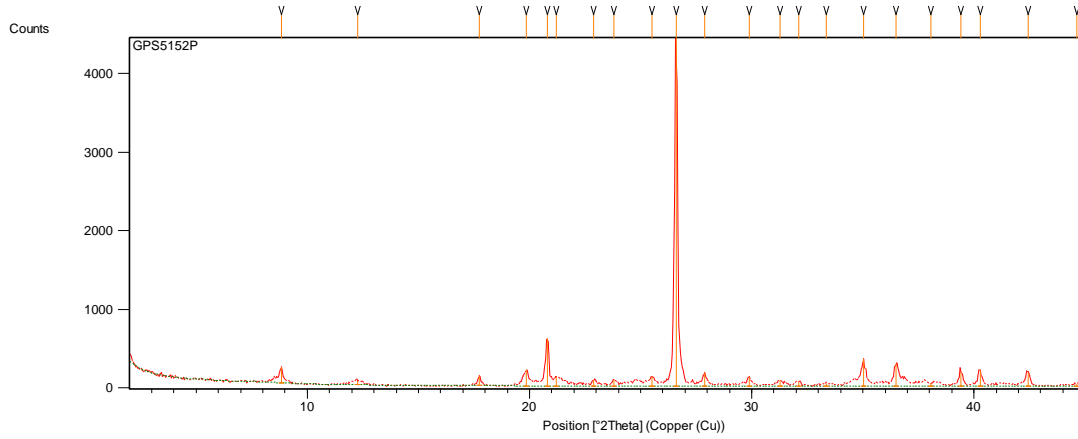
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,7483	123,44	0,1476	10,10813	4,08
12,4057	139,92	0,2460	7,13510	4,63
17,7425	35,75	0,2952	4,99912	1,18
19,7782	279,54	0,1968	4,48893	9,24
20,8468	547,76	0,1476	4,26119	18,12
24,8384	61,50	0,3936	3,58471	2,03
26,6205	3023,72	0,1968	3,34864	100,00
27,8751	118,06	0,1476	3,20071	3,90
29,8678	22,82	0,2460	2,99155	0,75
33,3262	19,29	0,2952	2,68859	0,64
34,5256	106,43	0,2460	2,59789	3,52
34,9420	218,26	0,1968	2,56788	7,22
36,5434	241,01	0,1968	2,45894	7,97
37,6399	75,96	0,2952	2,38980	2,51
38,4032	67,41	0,3936	2,34404	2,23
39,4614	178,86	0,1476	2,28359	5,92
40,3040	81,88	0,1968	2,23777	2,71
42,4556	201,60	0,1800	2,12745	6,67

Muestra PA-22



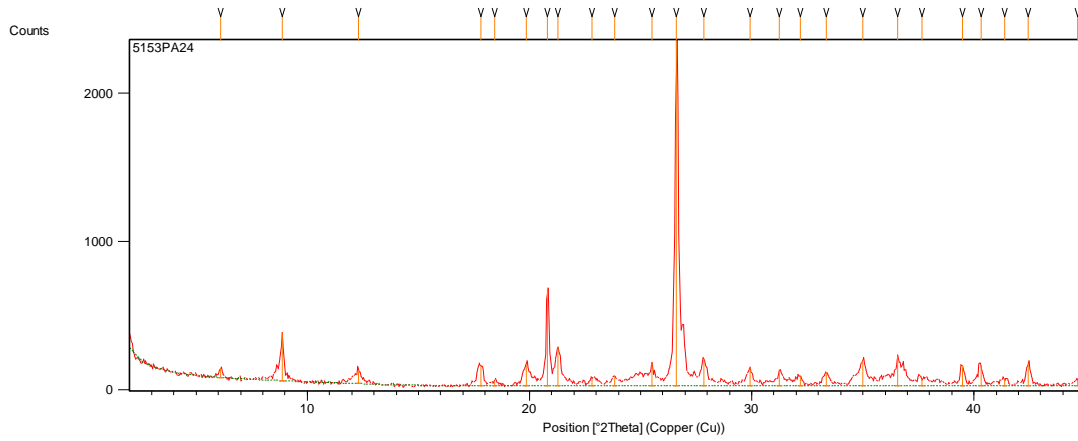
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,1416	112,54	0,2952	14,39116	3,21
8,9496	884,93	0,1476	9,88116	25,22
12,3500	192,74	0,2460	7,16714	5,49
17,8810	422,60	0,1968	4,96070	12,04
19,9636	226,42	0,2460	4,44767	6,45
20,9312	652,69	0,1968	4,24420	18,60
21,6992	70,19	0,1476	4,09568	2,00
23,0256	84,15	0,2952	3,86267	2,40
23,9605	103,70	0,1476	3,71402	2,96
24,9813	150,39	0,2952	3,56453	4,29
25,6104	161,46	0,1968	3,47838	4,60
26,7154	3509,13	0,1476	3,33696	100,00
27,9262	322,27	0,1968	3,19498	9,18
30,0175	166,45	0,2460	2,97698	4,74
31,3614	123,27	0,2460	2,85240	3,51
32,2033	71,47	0,2460	2,77973	2,04
35,0788	276,50	0,1968	2,55818	7,88
36,1201	89,75	0,1476	2,48678	2,56
36,6215	263,27	0,1476	2,45388	7,50
37,8564	69,15	0,3936	2,37662	1,97
39,5657	276,72	0,1476	2,27780	7,89
40,3722	137,01	0,1968	2,23414	3,90
42,5258	217,64	0,1968	2,12586	6,20
44,6939	60,03	0,1800	2,02596	1,71

Muestra PA-23



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8,8247	208,53	0,1968	10,02074	4,59
12,2808	53,41	0,3936	7,20734	1,18
17,7516	123,95	0,1476	4,99658	2,73
19,8532	206,74	0,1968	4,47215	4,55
20,7891	611,36	0,1476	4,27287	13,46
21,2190	123,71	0,1968	4,18728	2,72
22,8964	73,06	0,1476	3,88416	1,61
23,7897	77,08	0,1476	3,74031	1,70
25,5082	121,35	0,1968	3,49208	2,67
26,5924	4540,78	0,1476	3,35212	100,00
27,8714	168,64	0,1968	3,20113	3,71
29,8776	113,93	0,1968	2,99060	2,51
31,2644	78,41	0,1968	2,86103	1,73
32,1136	56,47	0,1968	2,78729	1,24
33,3587	37,71	0,3936	2,68605	0,83
35,0267	347,69	0,1968	2,56186	7,66
36,4984	289,24	0,1476	2,46187	6,37
38,0540	38,65	0,5904	2,36474	0,85
39,4076	186,01	0,1476	2,28658	4,10
40,2684	203,76	0,1968	2,23966	4,49
42,4286	176,24	0,1968	2,13050	3,88
44,6267	26,67	0,3000	2,02886	0,59

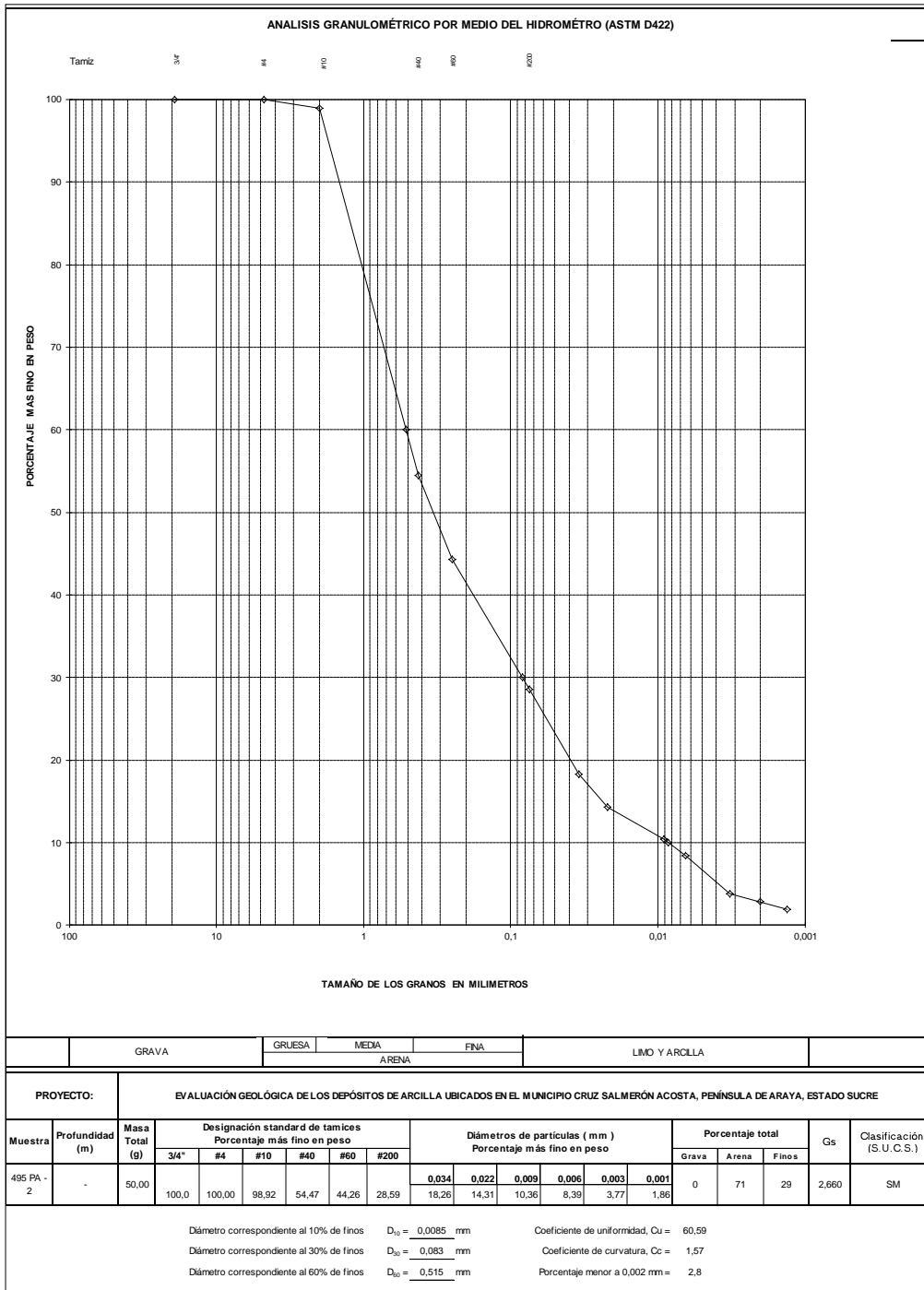
Muestra PA-24



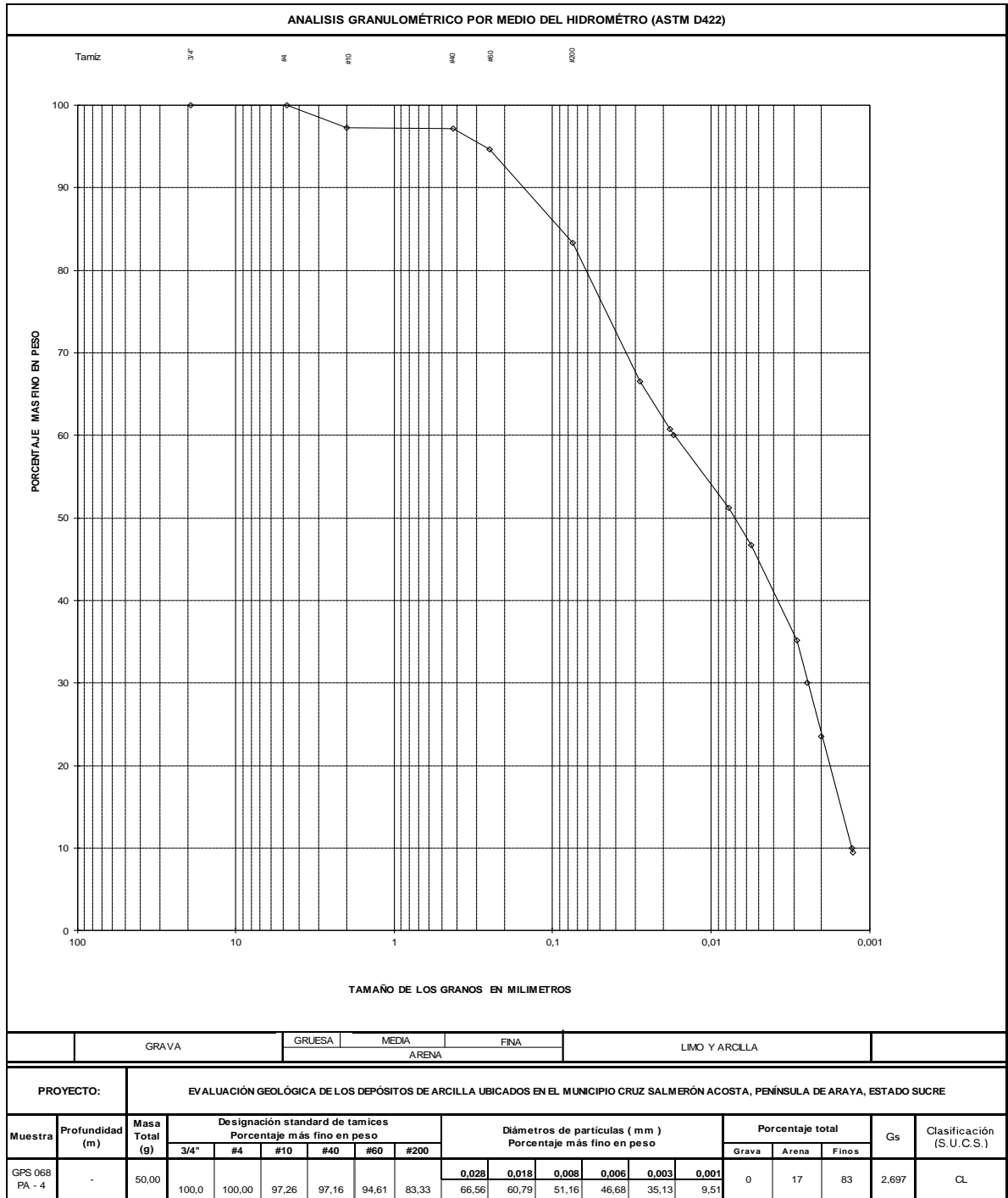
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
6,1056	70,39	0,1968	14,47611	3,02
8,8690	326,43	0,1476	9,97083	14,01
12,3119	80,92	0,1968	7,18926	3,47
17,8241	138,67	0,2952	4,97642	5,95
18,4468	35,53	0,2952	4,80980	1,52
19,8386	145,82	0,2952	4,47541	6,26
20,8211	666,62	0,1476	4,26638	28,60
21,2848	258,74	0,1968	4,17448	11,10
22,8139	52,92	0,3444	3,89802	2,27
23,8417	61,48	0,2952	3,73226	2,64
25,5252	156,94	0,1476	3,48979	6,73
26,6218	2330,47	0,1968	3,34848	100,00
27,8444	189,67	0,1968	3,20417	8,14
29,9277	127,93	0,2460	2,98571	5,49
31,2525	94,26	0,2952	2,86210	4,04
32,1747	68,96	0,2460	2,78213	2,96
33,3676	92,93	0,2460	2,68535	3,99
34,9955	168,57	0,1968	2,56407	7,23
36,5632	205,72	0,1476	2,45766	8,83
37,6771	51,26	0,3936	2,38752	2,20
39,4664	141,40	0,1968	2,28331	6,07
40,3071	135,07	0,1968	2,23760	5,80
41,3806	51,61	0,2952	2,18200	2,21
42,4391	152,97	0,1476	2,13000	6,56
44,6650	39,48	0,2400	2,02721	1,69

Apéndice 3 Estudios Geotécnicos Gráficas de Hidrometría

Muestra PA-2

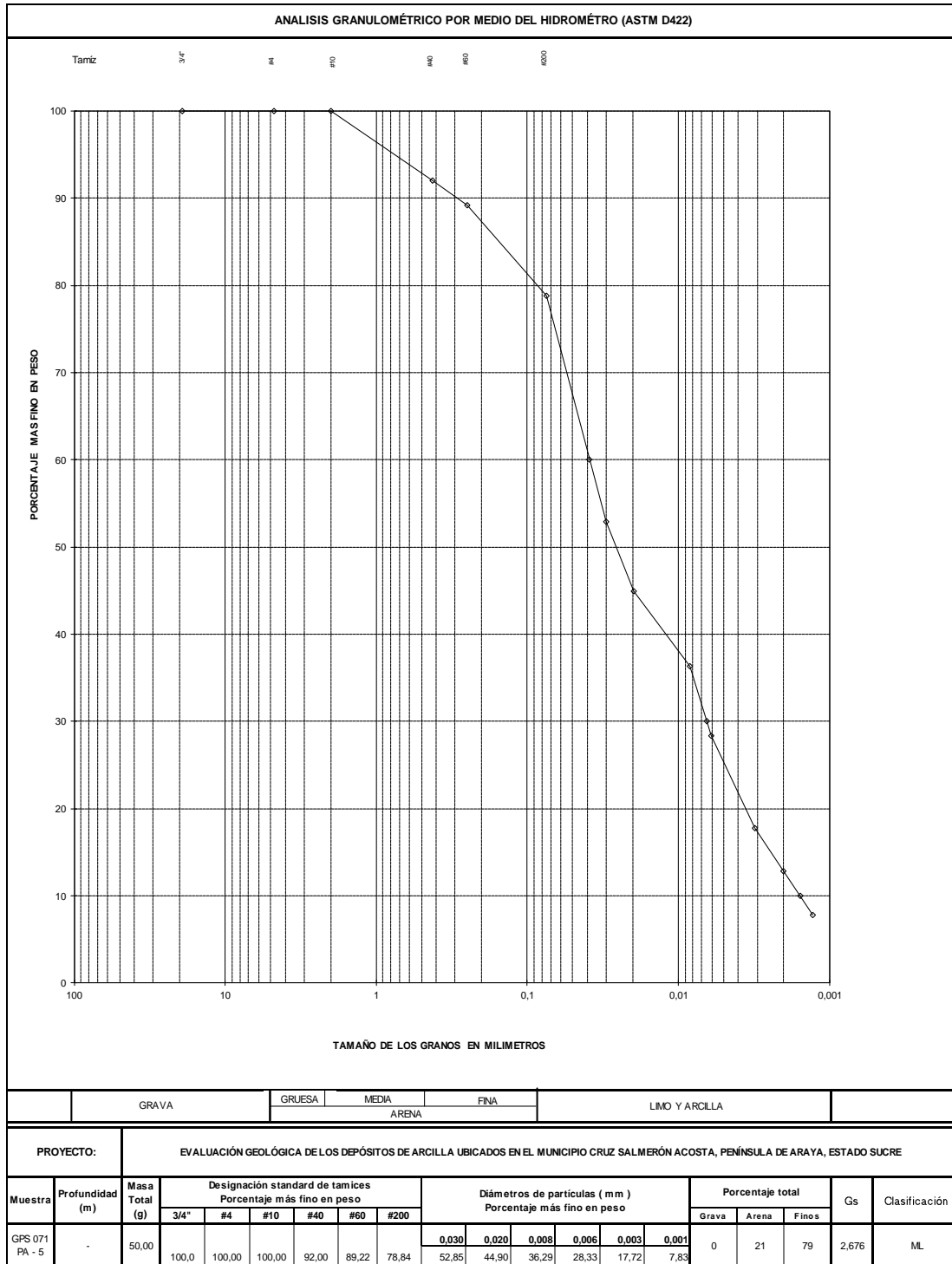


Muestra PA- 4



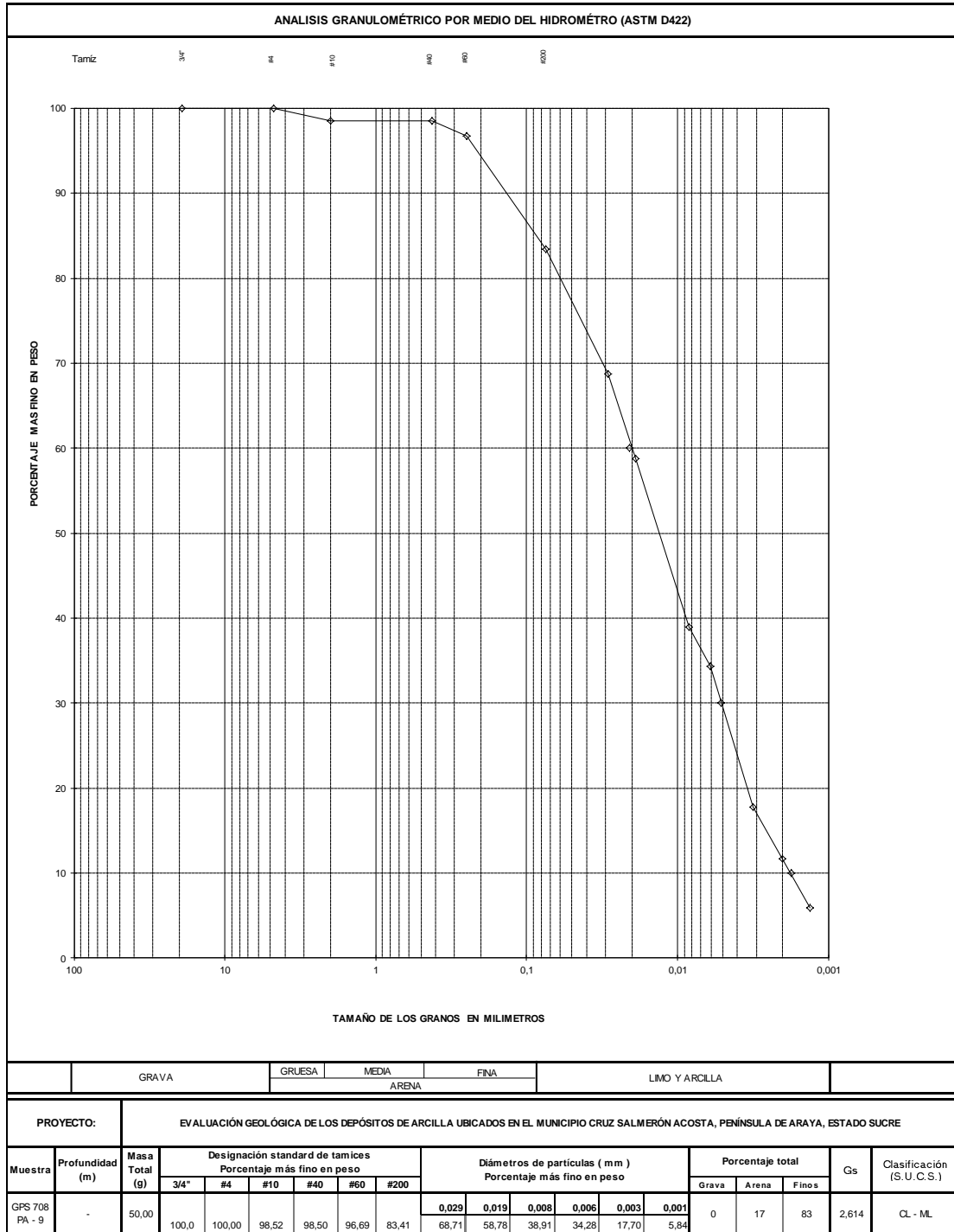
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0013$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 13,36$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,00245$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,27$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,0171$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 23,50

Muestra PA- 5



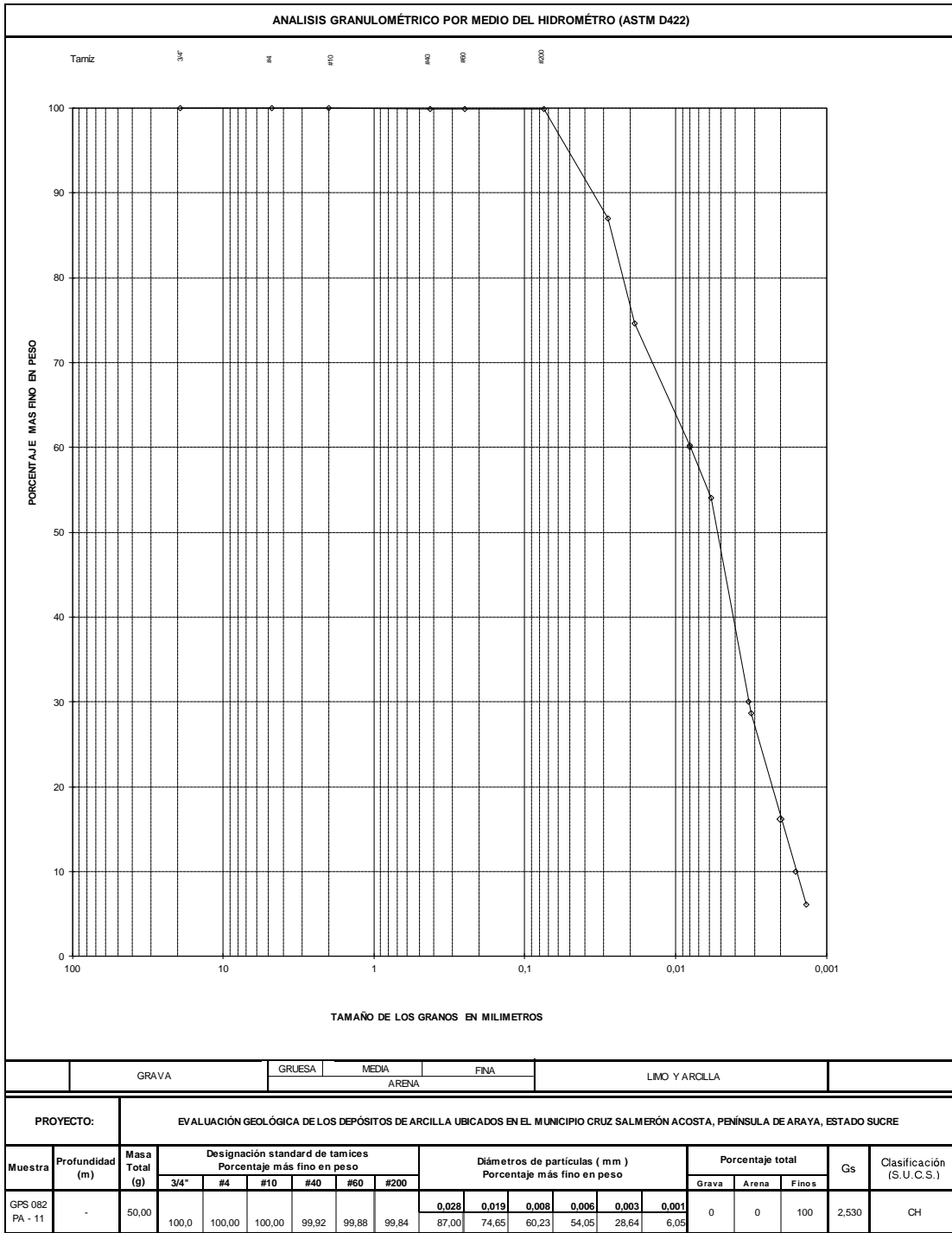
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0016$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 25,16$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0065$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,70$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,039$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 12,8

Muestra PA-9



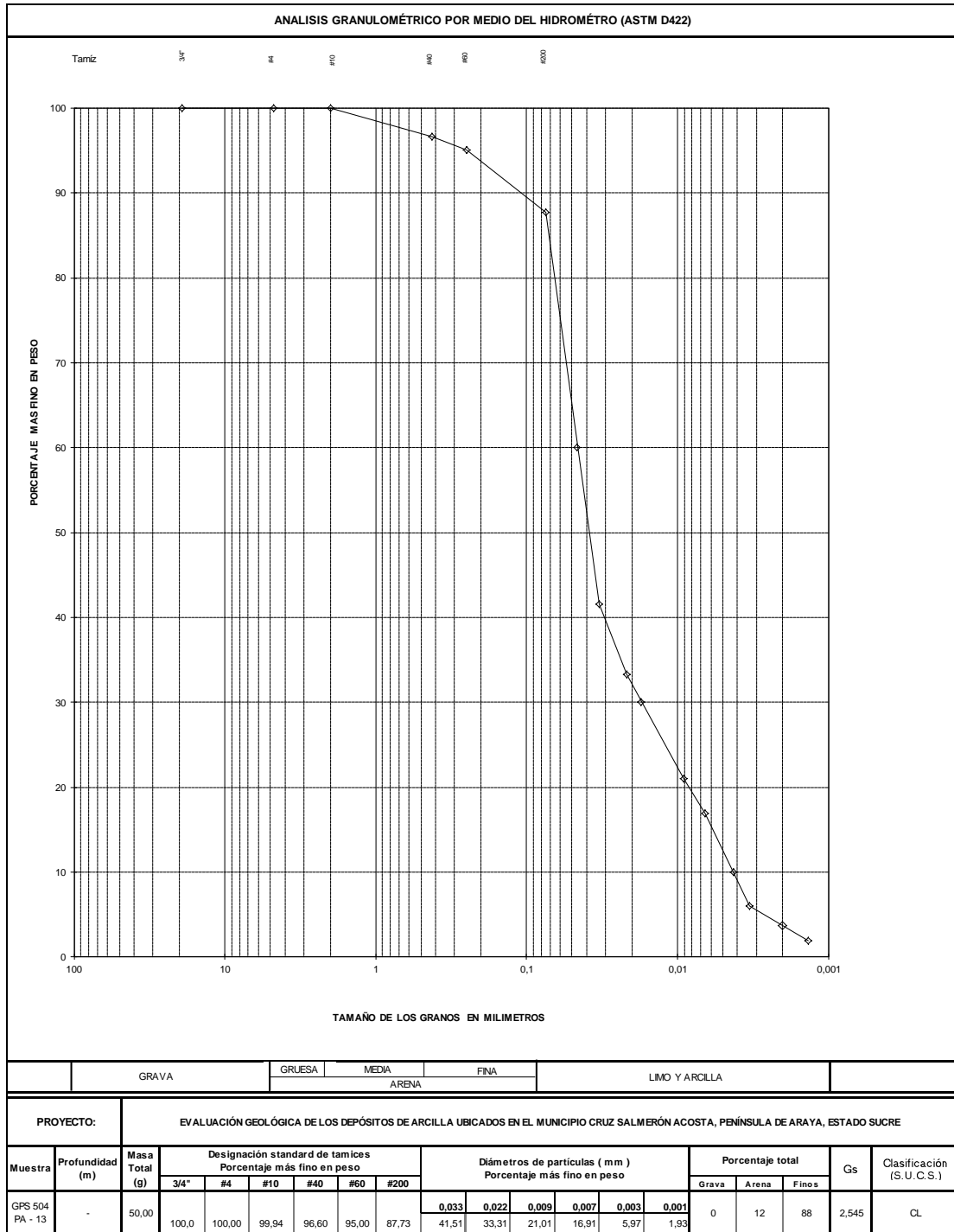
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0018$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 11,83$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0051$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,72$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,0207$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 11,70

Muestra PA- 11



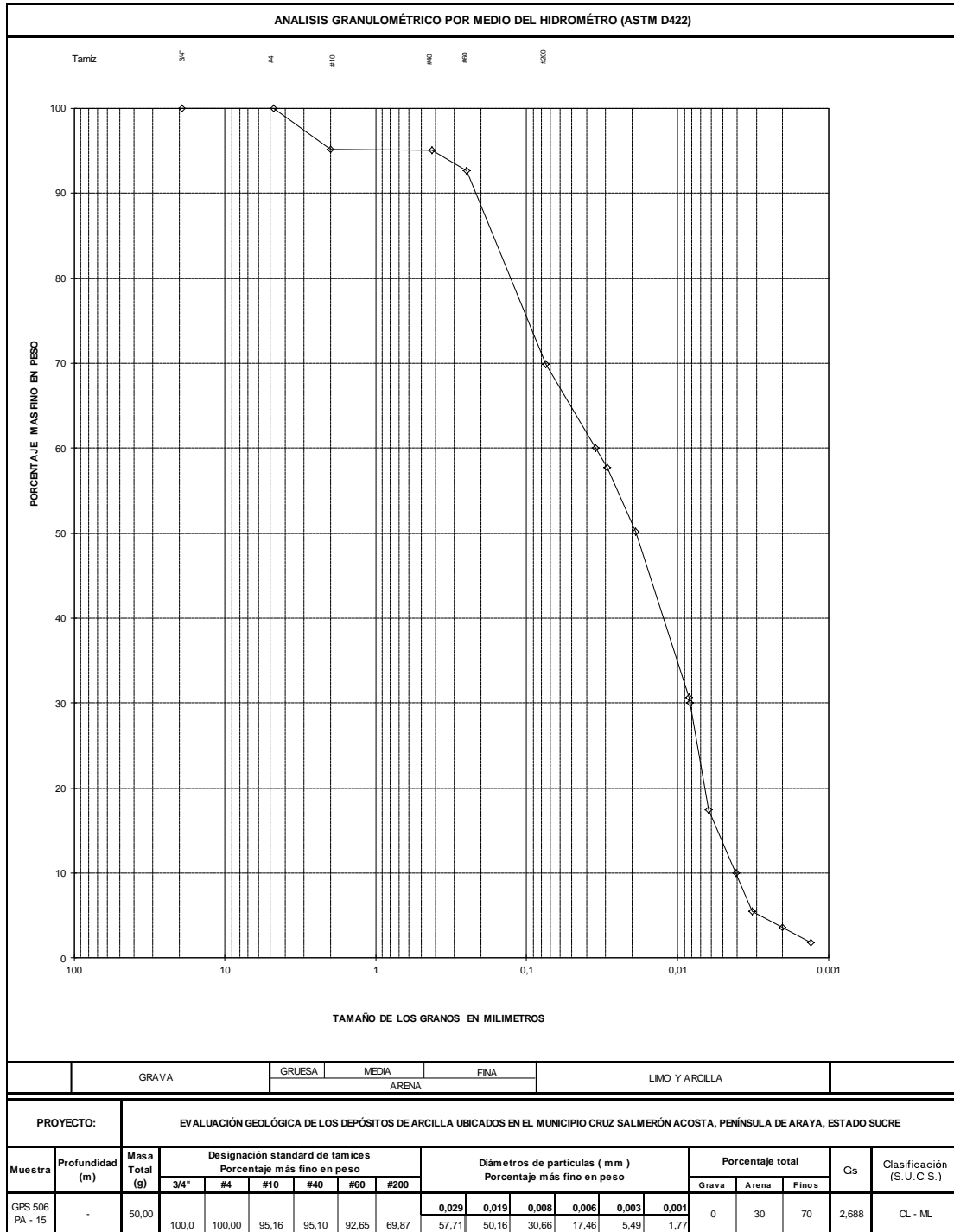
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0016$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 5,00$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0033$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,85$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,0080$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 16,20

Muestra PA- 13



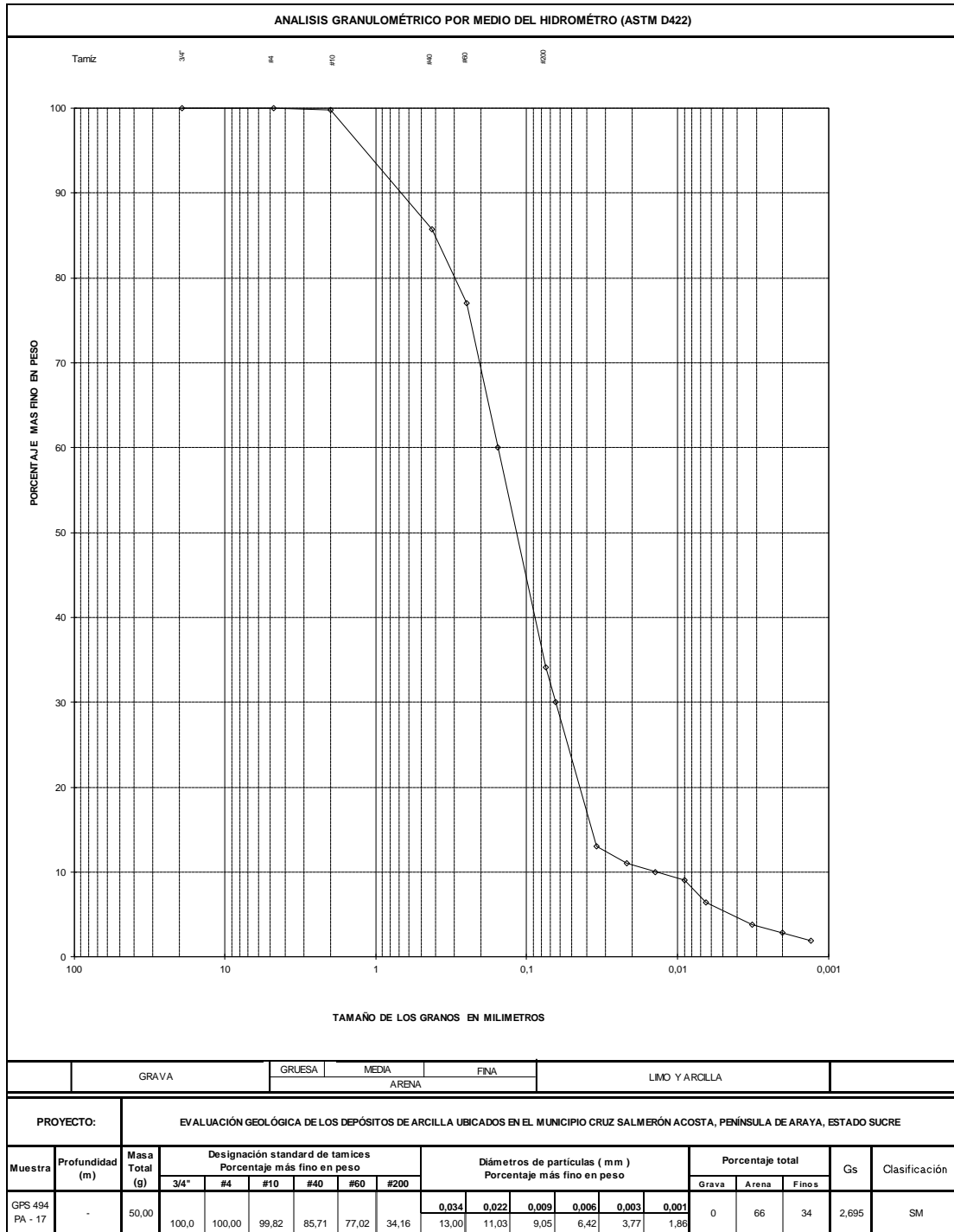
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0043$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 10,82$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0175$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 1,57$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,046$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 3,7

Muestra PA-15



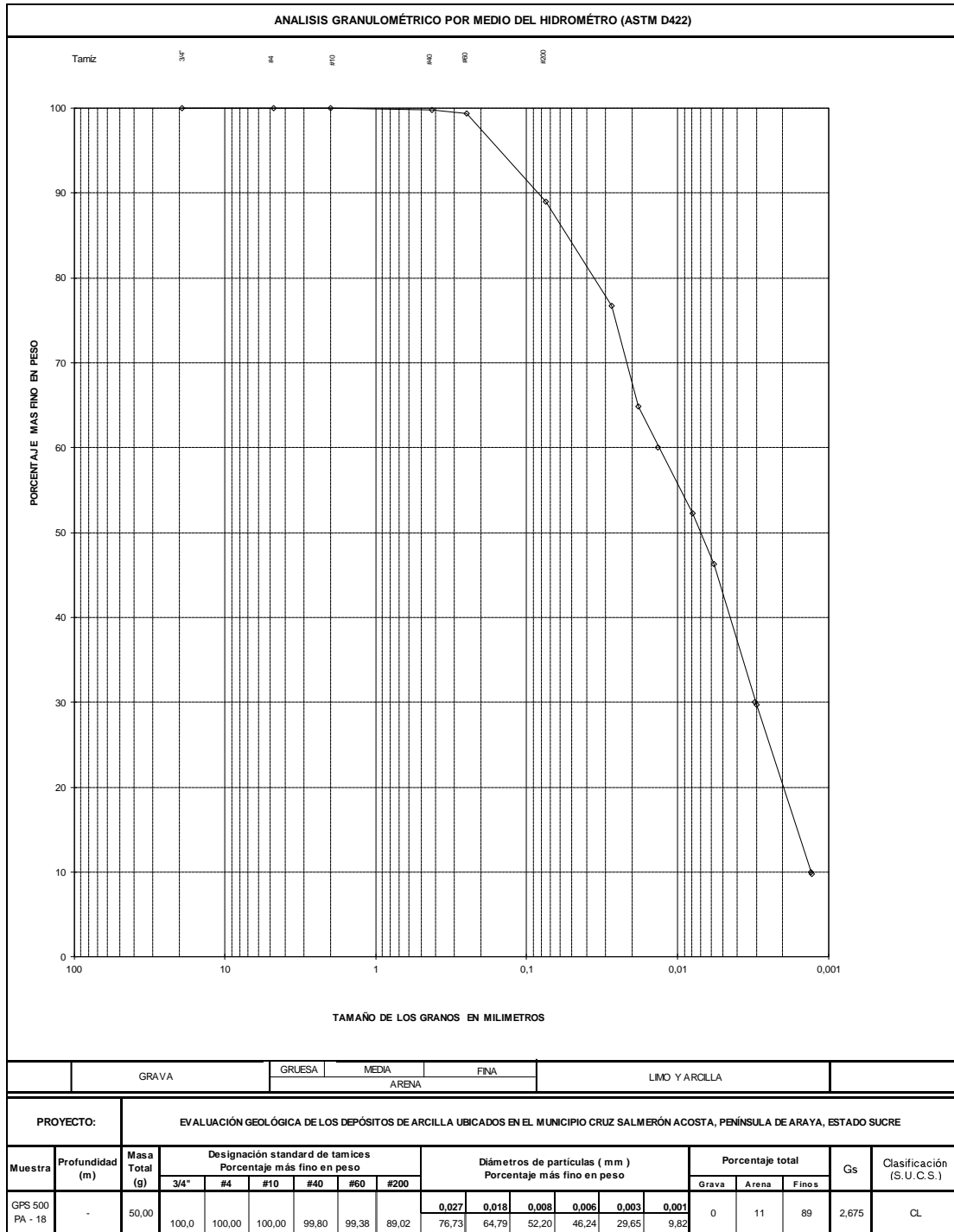
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0041$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 8,54$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0083$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,48$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,035$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 3,60

Muestra PA- 17



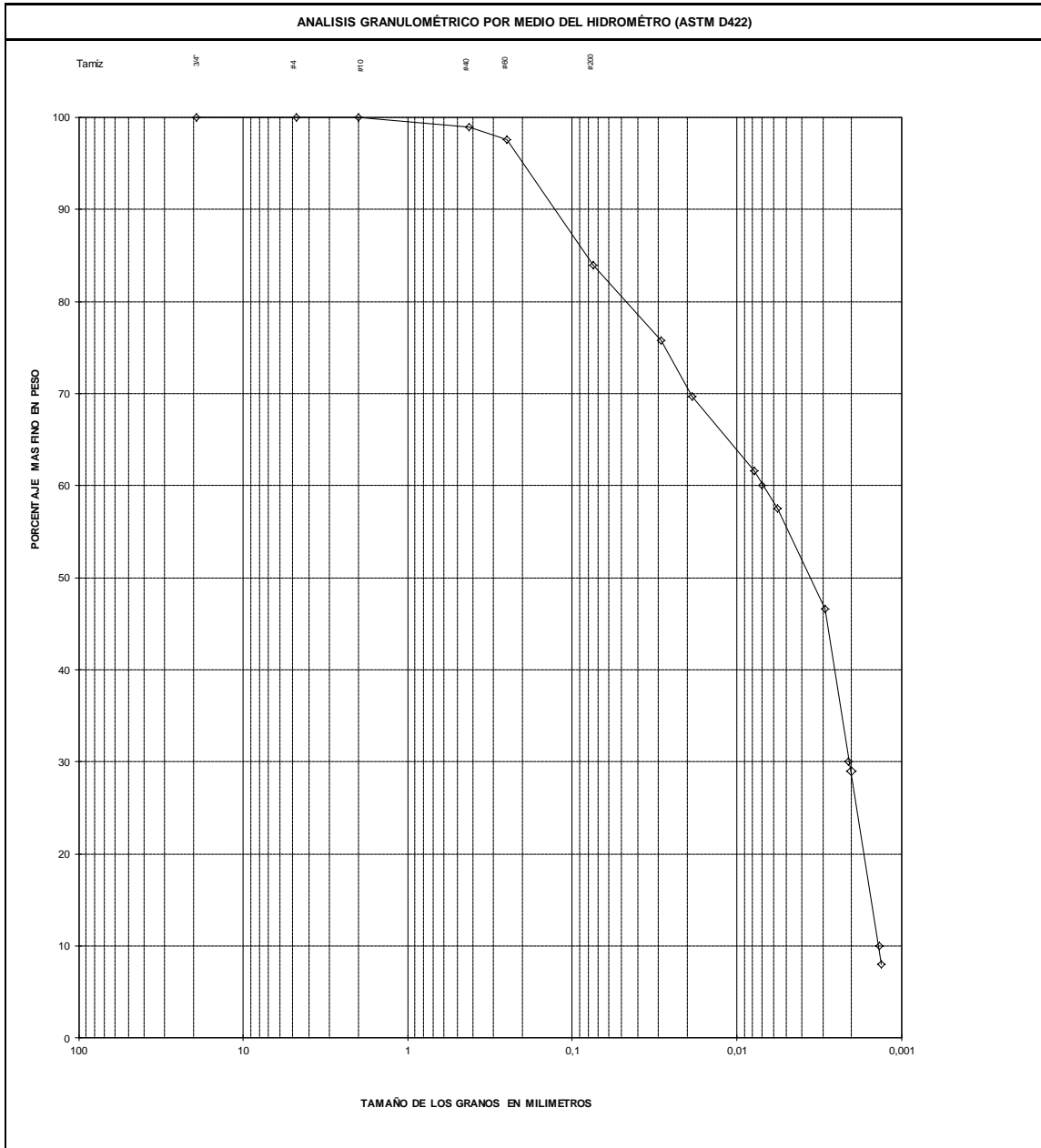
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,014$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 11,07$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,064$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 1,89$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,155$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 2,80

Muestra PA- 18



Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0013$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 10,31$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0031$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,53$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,0134$ mm

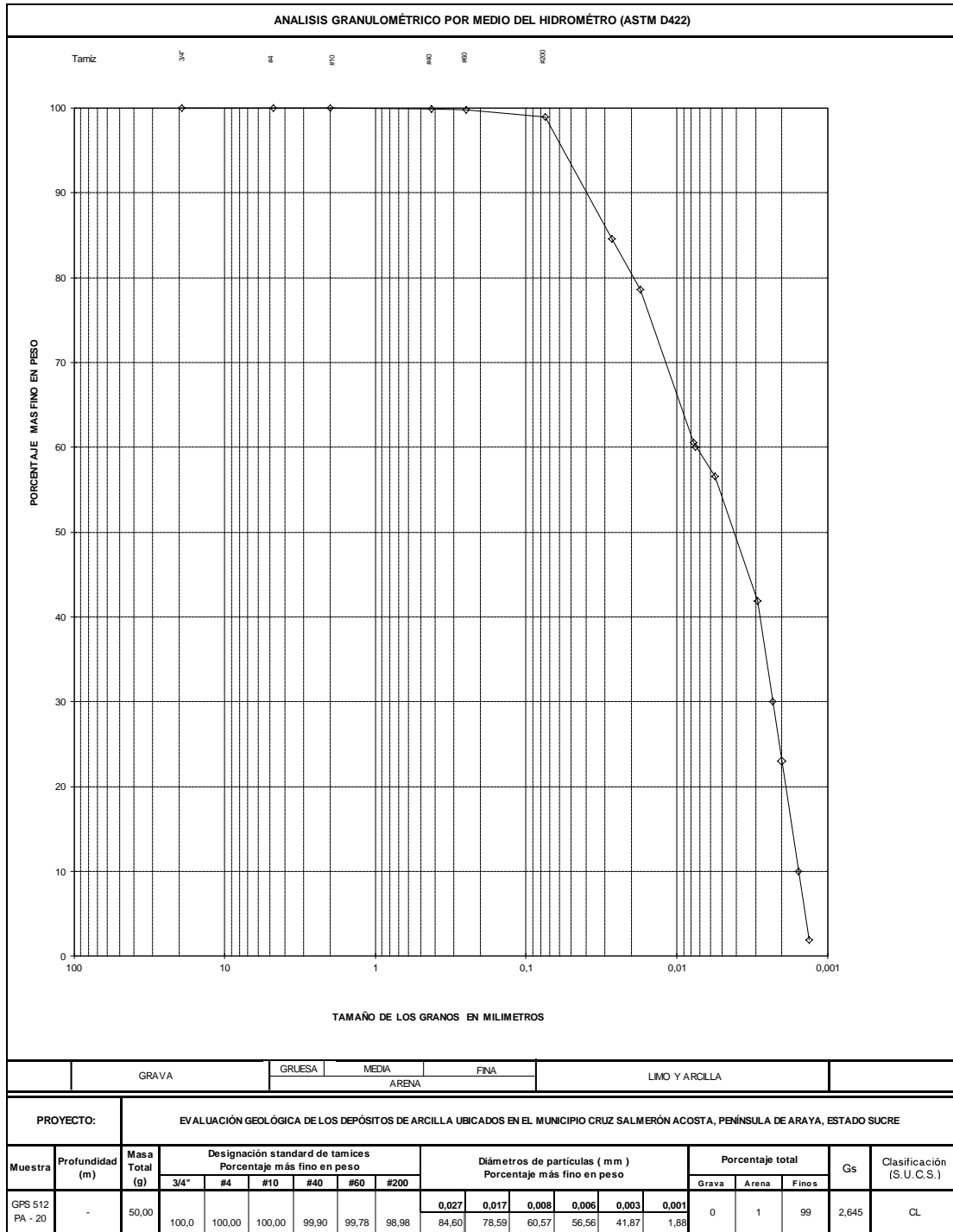
Muestra PA-19



	GRAVA	GRUESA	MEDIA	FINA	LIMO Y ARCILLA														
		ARENA																	
PROYECTO:		EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA UBICADOS EN EL MUNICIPIO CRUZ SALMERÓN ACOSTA, PENÍNSULA DE ARAYA, ESTADO SUCRE																	
Muestra	Profundidad (m)	Masa Total (g)	Designación standard de tamices Porcentaje más fino en peso						Diámetros de partículas (mm) Porcentaje más fino en peso					Gs	Clasificación (S.U.C.S.)				
			3/4"	#4	#10	#40	#60	#200	0,029	0,019	0,008	0,006	0,003			0,001	Grava	Areña	Finos
GPS 501 PA - 19	-	50,00	100,0	100,00	100,00	98,96	97,56	83,96	75,80	69,70	61,56	57,49	46,62	8,02	0	16	84	2,577	CL

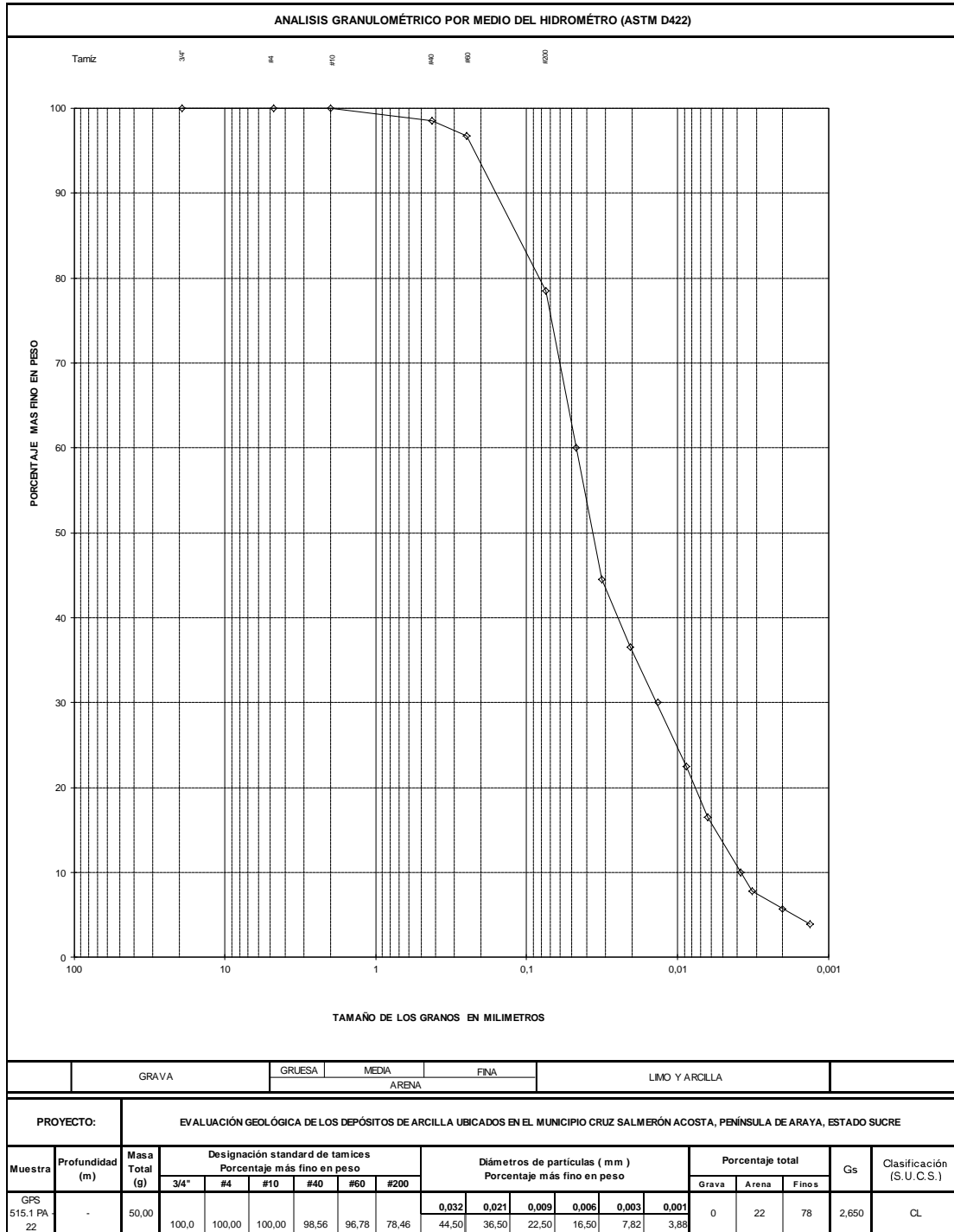
Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0014$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 5,19$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0021$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,47$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,007$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 29,00

Muestra PA-20



Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0016$ mm Coeficiente de uniformidad, $C_u = 4,84$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0023$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 0,46$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,0075$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 23,00

Muestra PA-22



Diámetro correspondiente al 10% de finos $D_{10} = 0,0038$ mm Coeficiente de uniformidad, $U_u = 12,39$
 Diámetro correspondiente al 30% de finos $D_{30} = 0,0135$ mm Coeficiente de curvatura, $C_c = 1,02$
 Diámetro correspondiente al 60% de finos $D_{60} = 0,0471$ mm Porcentaje menor a 0,002 mm = 5,7

Contenido de Humedad Natural

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL (ASTM D 2216)							
PROYECTO:		EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE ARCILLA UBICADOS EN EL MUNICIPIO CRUZ SALMERÓN ACOSTA, PENÍNSULA DE ARAYA, ESTADO SUCRE					
Muestra No.	Tara No.	Masa Tara (g)	Masa Tara + Suelo Húmedo	Masa Tara + Suelo Seco	Masa Agua (g)	Masa Suelo Seco (g)	Contenido de Humedad %
PA - 2	J	27,6	320,04	314,11	5,93	286,51	2,07
PA - 4	B	30,06	584,83	568,21	16,62	538,15	3,09
PA - 5	E	39,35	545,60	530,98	14,62	491,63	2,97
PA - 9	A	38,92	437,66	421,44	16,22	382,52	4,24
PA - 11	L	81	331,30	310,64	20,66	229,64	9,00
PA - 13	G	30,47	396,00	355,91	40,09	325,44	12,32
PA - 15	C	27,59	307,66	300,78	6,88	273,19	2,52
PA - 17	D	32,3	482,81	480,73	2,08	448,43	0,46
PA - 18	F	30,41	479,22	462,72	16,5	432,31	3,82
PA - 19	K	27,85	418,35	395,08	23,27	367,23	6,34
PA - 20	I	33,8	342,74	322,52	20,22	288,72	7,00
PA - 22	H	30,67	402,12	387,23	14,89	356,56	4,18

