

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN
MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO CARABOBO**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. González R., Eduardo A.,
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2021

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN
MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO CARABOBO**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. González R., Eduardo A.,
Para optar al Título
de Ingeniero Geólogo

Caracas, 2021

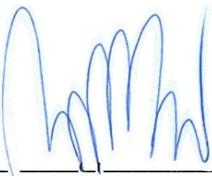
Caracas, Septiembre de 2021

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller González Ramírez Eduardo Antonio, titulado:

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO CARABOBO

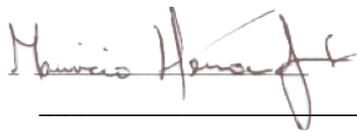
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.



Prof. Ricardo Alezones
Jurado



Prof. Santiago Marrero
Jurado



Prof. Mauricio Hernández
Jurado

A mi Mamá MIGDALIA y a mi Papá ANTONIO quienes demuestran que ser padres no se quedó solo en darme la vida, esa era la parte sencilla, padres son quienes no se casan de dar amor.

A mi hermano quien no solo es hermano de sangre, sino también de ideales.

A mis abuelos por darme el mejor regalo de la vida... mi MAMÁ y mi PAPÁ

“Nuestro conocimiento es necesariamente finito, mientras que nuestra ignorancia es necesariamente infinita.”

Karl Popper

GRACIAS INFINITAS A MI FAMILIA!!!

Gracias al jefe, tutor y capitán del barco, al Sr. Ricardo Alezones, quien considero un MAESTRO de la geología y de la pedagogía.

Gracias a todos los profesores de la escuela, en especial a la profe Carolina.

Gracias a todos los compañeros y amigos que la universidad me dio la oportunidad de conocer.

GRACIAS A KAYEM!!! Quienes llevan la palabra AMISTAD al siguiente nivel.

Kathe quien siempre nos hace montar en el barco antes de que zarpe

Alita quien es de ese tipo de personas irrepetibles en la vida

Yuli el ejemplo de que si existen preparadores panas

Al panita Maurizio aunque sea del Milán.

GONZÁLEZ RAMÍREZ, EDUARDO A.

CARACTERIZACIÓN

MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO CARABOBO

Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones. Tesis, Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2021, 140p.

Palabras Claves: Carabobo, Cordillera de la Costa, Arcillas, difracción de rayos X, cuencas sedimentarias, filosilicatos, minerales de la arcilla.

Resumen

El objetivo principal de la presente investigación consistió en la caracterización geológica del material de naturaleza arcillosa que se encuentra superficialmente en el estado Carabobo. Esto se llevó a cabo a partir de una exhaustiva recopilación bibliográfica y cartográfica, que conllevó a obtener difractogramas sobre muestras de arcillas elaborados por diversos autores e instituciones nacionales. Se lograron recopilar veintidós (22) estudios que presentan difractogramas sobre muestras de arcillas con su respectiva ubicación geográfica, los mismos cuentan con ensayos en calidad de muestra total, glicolada y menor a dos micras.

Luego de la recopilación se procedió a compilar la geología del estado con sus respectivas bases topográficas y geológicas en un S.I.G, donde además se señalaron las cuencas de interés y ubicaron los respectivos estudios sobre muestras de arcillas. Posterior se procedió a la lectura de los picos de los diferentes difractogramas a partir de la digitalización de los mismos y la comparación con los picos estandarizados de los filosilicatos, esto permitió identificar cinco especies minerales consideradas de arcilla como la vermiculita, montmorillonita, clorita, caolinita e illita.

De la identificación mineralógica de las muestras y en contraste con las unidades litológicas presentes en la base geológica compilada, se realizó una

correlación de las especies minerales de arcilla con los cuerpos litológicos presentes en la cordillera de la costa, en función de entender la génesis de cada mineral de arcilla; tal labor permitió establecer una relación estrecha, entre la mineralogía presente en las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias dispuestas en el estado y la labor que ejerce la meteorización y posterior transporte característico de los climas tropicales. Esta labor de caracterización permitió identificar una importante presencia de illita y caolinita en las áreas estudiadas.

En función de la mineralogía identificada y el entendimiento de las propiedades que presenta cada especie mineral, se establecieron una serie de aplicaciones industriales para las arcillas identificadas en cada área; las mismas van desde el empleo en la industria alfarera para las zonas con alta presencia de illita y caolinita; hasta la recomendación de cuantificar las cantidades de montmorillonita en las áreas que presentan este mineral, esto con la intención de aprovechar la misma como “arcilla bentonita” ya que tal arcilla tiene un importante valor comercial; se destaca también la recomendación de investigar la presencia de litio en las arcillas con montmorillonita para evaluar su potencial uso como “arcilla de litio” en la industria de las baterías. También se evaluó el potencial expansivo de cada área en función de las características de cada especie mineral de arcilla identificada en la misma, donde por ejemplo lugares con presencia de montmorillonita y vermiculita tienen una importante tendencia a ser expansivos.

Los resultados son expresados aparte de en este trabajo, en una serie de mapas a escala 1:100.000 y 1:25.000 donde se representan las bases geológicas y topográficas del estado Carabobo, en ellos además se señalan los puntos de caracterización o toma de muestra de arcilla; a su vez se generó una base de datos con salida de estilo *dashboard* o tablero para facilitar la consulta de la información, disponible en el *software* Microsoft© Excel y una variante en línea en la web de ArcGis© *dashboard*.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	16
1.1 Generalidades	16
1.2 Ubicación	16
1.3 Planteamiento del problema	17
1.4 Objetivo general	18
1.5 Objetivos específicos	18
1.6 Justificación	19
1.7 Alcances	20
1.8 Antecedentes	20
CAPÍTULO 2 MARCO METODOLÓGICO	23
2.1 Fase de recopilación bibliográfica y cartográfica	23
2.2 Fase de verificación de DRX y obtención de muestras o ensayos	24
2.3 Fase de trabajo de laboratorio	24
2.3.1 Difracción de rayos X (GRANDE, 2000)	25
2.3.2 Análisis de muestra total (FOURNIER, 1999)	25
2.3.3 Ensayo para la fracción menos de 2 μ (FOURNIER, 1999)	26
2.3.4 Análisis de difracción de rayos X (FOURNIER, 1999)	27
2.3.5 Tratamiento con etilén glicol	28
2.3.6 Identificación y cuantificación de los minerales	28
2.3.7 Relación de Illita (SRODON, 1984)	28
2.4 Fase de trabajo de oficina	28
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO	30
3.1 Bases Conceptuales	30
3.1.1 Arcilla	30
3.1.2 Minerales de la arcilla	30
3.1.3 Clasificación de las arcillas	33
3.1.4 Difracción de Rayos X	34
3.1.5 Sistemas de Información Geográfico (S.I.G)	35
3.2 Marco Geológico	37
3.2.1 Generalidades	37
3.2.2 Descripción litológica	39
3.2.3 Geología estructural	45

3.2.4 Geología cuaternaria _____	46
CAPÍTULO 4 GEOLOGÍA DEL ESTADO CARABOBO _____	49
4.1 Generalidades _____	49
4.2 Cartografía _____	50
4.2.1 Compilación Cartográfica _____	50
4.2.2 Áreas caracterizadas _____	54
4.2.3 Ubicación de Muestras _____	58
4.2.3.1 Muestreo en el flanco noroeste costero de Carabobo _____	62
4.2.3.2 Muestreo en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste) _____	63
4.2.3.3 Muestreo en el Valle de Bejuma _____	64
4.2.3.4 Muestreo en la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste) _____	65
4.3 Caracterización por medio de DRX _____	66
4.3.1 Caracterización por áreas de interés _____	68
4.3.1.1 Caracterización del flanco noroeste costero de Carabobo _____	68
4.3.1.2 Caracterización de la Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste) _____	70
4.3.1.3 Caracterización del Valle de Bejuma _____	72
4.3.1.4 Caracterización de la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste) _____	73
4.3.2 Caracterización por especie mineral de arcilla _____	76
4.3.2.1 Caracterización de la vermiculita _____	76
4.3.2.2 Caracterización de la Montmorillonita _____	77
4.3.2.3 Caracterización de la Illita _____	80
4.3.2.3.1 Relación de Illita o Relación de intensidad de Srodon _____	82
4.3.2.4 Caracterización de la Caolinita _____	85
4.3.2.5 Caracterización de la Clorita _____	87
CAPÍTULO 5 INTERPRETACIONES Y DISCUSIONES _____	89
5. 1 Generalidades _____	89
5.2 Origen de los minerales de arcilla _____	90
5.2.1 Origen de la Vermiculita _____	90
5.2.1 Origen de la Montmorillonita _____	91
5.2.3 Origen de la Illita _____	92
5.2.4 Origen de la Caolinita _____	93
5.2.5 Origen de la Clorita _____	94
5.3 Planteamientos en función de las áreas de interés _____	94
5.3.1 Flanco noroeste costero de Carabobo _____	94

5.3.1.1 Origen de la Vermiculita en el flanco noroeste costero _____	95
5.3.1.2 Origen de la Montmorillonita en el flanco noroeste costero _____	96
5.3.1.3 Origen de la Illita en el flanco noroeste costero _____	97
5.3.1.4 Origen de la Caolinita en el flanco noroeste costero _____	97
5.3.1.5 Posibles aplicaciones de las arcillas caracterizadas _____	98
5.3.1.6 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas _____	99
5.3.2 Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste) _____	100
5.3.2.1 Origen de la Vermiculita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste) _____	101
5.3.2.2 Origen de la Illita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste) _____	102
5.3.2.3 Origen de la Caolinita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste) _____	102
5.3.2.4 Posibles aplicaciones para las arcillas caracterizadas _____	103
5.3.2.5 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas _____	104
5.3.3 Valle de Bejuma _____	104
5.3.3.1 Origen de la Clorita en el Valle de Bejuma _____	105
5.3.3.2 Posibles aplicaciones para las arcillas caracterizadas _____	105
5.3.3.3 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas _____	106
5.3.4 Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste) _____	106
5.3.4.1 Origen de la Illita en la Llanura de Tinaquillo _____	107
5.3.4.2 Origen de la Caolinita en la Llanura de Tinaquillo _____	108
5.3.4.3 Posibles aplicaciones para las arcillas caracterizadas _____	108
5.3.4.4 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas _____	109
5.4 Mención especial _____	109
<i>CAPÍTULO 6 SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i> _____	111
<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> _____	116
<i>ANEXOS A DIFRACTOGRAMAS</i> _____	125
<i>ANEXOS B CARTOGRAFÍA</i> _____	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para las corridas en el difractor y ajustes del goniómetro	27
Tabla 2. Clasificación de los filosilicatos	33
Tabla 3. Clasificación de minerales aprobada por A.I.P.E.A	33
Tabla 4. División de la CdIC (fajas, napas y terrenos)	38
Tabla 5. Unidades de la CdIC presentes en el área de estudio	44
Tabla 6. Unidades pertenecientes a la faja piemontina presentes en el área de estudio	44
Tabla 7. Unidades sedimentarias no metamorizadas presentes en el área de estudio	45
Tabla 8. Modificaciones de las Nomenclaturas presentes en los resultados de este trabajo	51
Tabla 9. Nomenclaturas presentes pertenecientes a las unidades de la CdIC.....	52
Tabla 10. Nomenclaturas presentes pertenecientes a la faja piemontina	54
Tabla 11. Nomenclaturas presentes correspondientes a las unidades sedimentarias no metamorizadas	54
Tabla 12. Nomenclaturas empleadas para los sedimentos neógenos poco consolidados.....	54
Tabla 13. Identificación de Muestras y ubicación de las mismas en las distintas cuencas ...	61
Tabla 14. Muestras compiladas en el flanco noroeste costero de Carabobo	62
Tabla 15. Muestras compiladas en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste).....	63
Tabla 16. Muestras compiladas en el Valle de Bejuma.....	64
Tabla 17. Muestras compiladas en la Llanura de Tinaquillo.....	65
Tabla 18. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa10.....	68
Tabla 19. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa11	68
Tabla 20. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa13	68
Tabla 21. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa14.....	69
Tabla 22. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa15	69
Tabla 23. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa16.....	69
Tabla 24. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa17	69
Tabla 25. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa6.....	70
Tabla 26. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa8.....	70
Tabla 27. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa9.....	70
Tabla 28. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa22.....	71
Tabla 29. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa23	71

Tabla 30. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa12.....	72
Tabla 31. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa1	73
Tabla 32. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa2.....	73
Tabla 33. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa3.....	73
Tabla 34. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa4.....	74
Tabla 35. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa5.....	74
Tabla 36. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa18.....	74
Tabla 37. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa19.....	74
Tabla 38. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa20.....	75
Tabla 39. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa21	75
Tabla 40. Ubicaciones donde se identificó Vermiculita.....	76
Tabla 41. Ubicaciones donde se identificó Montmorillonita	77
Tabla 42. Ubicaciones donde se identificó Illita	80
Tabla 43. Resultados de la evaluación de la relación de illita.....	83
Tabla 44. Porcentaje de esmectita presente en las muestras I/S.....	84
Tabla 45. Ubicaciones donde se identificó Caolinita	85
Tabla 46. Ubicaciones donde se identificó Clorita.....	87
Tabla 47. Ficha resultado difractograma muestra AACa12	88
Tabla 48. Minerales en el flanco noroeste costero de Carabobo	95
Tabla 49. Origen de la Vermiculita en el flanco noroeste costero	96
Tabla 50. Origen de la Montmorillonita en el flanco noroeste costero	96
Tabla 51. Origen de la Illita en el flanco noroeste costero	97
Tabla 52. Origen de la Caolinita en el flanco noroeste costero.....	97
Tabla 53. Minerales en la Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste).....	100
Tabla 54. Origen de la Vermiculita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia.....	102
Tabla 55. Origen de la Illita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia	102
Tabla 56. Origen de la Caolinita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia	103
Tabla 57. Minerales en el Valle de Bejuma.....	104
Tabla 58. Origen de la Clorita en el Valle de Bejuma.....	105
Tabla 59. Minerales en la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)	106
Tabla 60. Origen de la Illita en la Llanura de Tinaquillo	107

Tabla 61. Origen de la Caolinita en la Llanura de Tinaquillo 108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación	16
Figura 2. Diagrama Metodológico.....	23
Figura 3. Hoja dioctaédrica de Caolinita	31
Figura 4. Tipo de enlace de los minerales de arcilla tipo (t)-(o)-(t).	32
Figura 5. Almacenaje de atributos de un sistema vectorial en un SIG.	36
Figura 6. División geográfica de Venezuela norcentral.	39
Figura 7. Mapa geológico simplificado de la zona central de la CdIC.....	43
Figura 8. Colisión de la Placa Caribe y Suramericana durante el Eoceno-Oligoceno	46
Figura 9. Distribución de los mapas 1:100.000 desarrollados.....	50
Figura 10. Cuencas evaluadas desarrolladas en función de modelos digitales de elevación.....	55
Figura 11. Área de influencia del Flanco noroeste costero de Carabobo	56
Figura 12. Área de influencia de la Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste).....	57
Figura 13. Área de influencia del Valle de Bejuma	57
Figura 14. Área de influencia de la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)	58
Figura 15. Muestras localizadas según las cuencas evaluadas	59
Figura 16. Cantidad de muestras respecto a las cuencas	59
Figura 17. Porcentaje de muestras por cuenca respecto al total	60
Figura 18. Ubicación referencial de las muestras del flanco norte costero	63
Figura 19. Ubicación referencial de las muestras de la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)	64
Figura 20. Ubicación referencial de las muestras en el Valle de Bejuma	64
Figura 21. Ubicación referencial de las muestras en la Llanura de Tinaquillo	65
Figura 22. Ficha de la muestra INV-179 Natural	67
Figura 23. Difractograma de la muestra INV-179 Natural.....	67
Figura 24. Mapa de muestras con presencia de Vermiculita.....	76
Figura 25. Difractograma de la Muestra AACa10	77
Figura 26. Mapa de muestras con presencia de Montmorillonita.....	78
Figura 27. Difractograma de la Muestra AACa13	79
Figura 28. Mapa de muestras con presencia de Montmorillonita.....	81
Figura 29. Difractograma de la muestra AACa11	81

Figura 30. Posición de los picos (002) vs (003) sobre la carta de Srdon (1984) para conocer el porcentaje de esmectita presente en muestra I/S.....	84
Figura 31. Mapa de muestras con presencia de Caolinita	86
Figura 32. Difractograma de la muestra AACa14.....	86
Figura 33. Mapa de muestras con presencia de clorita.....	87
Figura 34. Usos mundiales de la bentonita. Tomado y traducido de HARVEY (2006)	98

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Este trabajo de investigación tiene como área de influencia la superficie del estado Carabobo y busca caracterizar los cuerpos de arcillas dispuestas a lo largo del estado. De esta manera se pretende generar una base de datos con información de calidad sobre la ubicación, extensión y mineralogía que facilite la investigación científica y permita aprovechar estos recursos, bien sea en la industria de la construcción como cerámica o ladrillo, o en otras industrias como la petrolera para cementar perforaciones, en la industria del papel, caucho, pintura, productos químicos y farmacéuticos hasta incluso en el ramo de la agricultura.

1.2 Ubicación

El estudio comprende la superficie administrativa del estado Carabobo, el cual se compone por 14 Municipios. Este estado es una de las 23 divisiones administrativas de la República Bolivariana de Venezuela (ver figura 1).

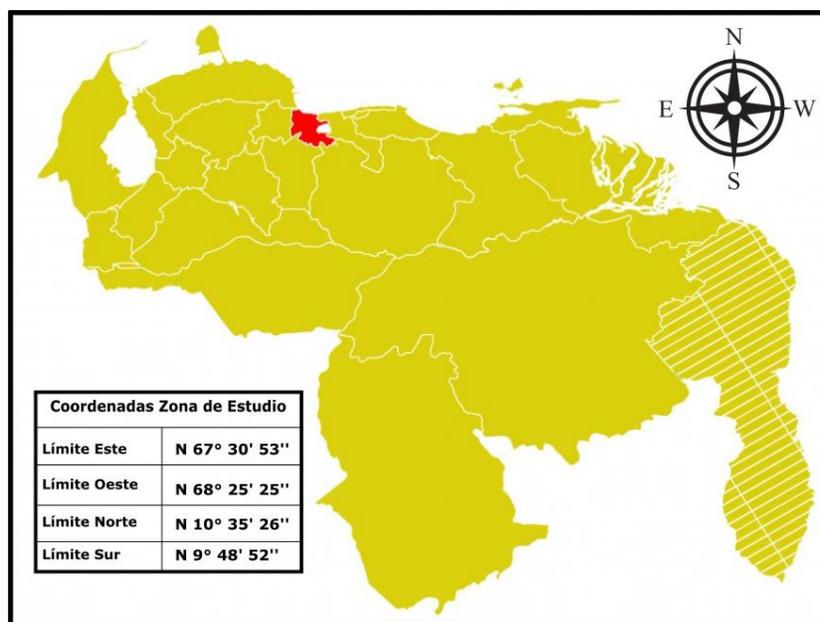


Figura 1. Mapa de Ubicación. Modificado de URBANI (2015)

Con una superficie de 4.650km² el estado Carabobo se enmarca en la región nor-central del país. Las mayores elevaciones topográficas se encuentran en la conocida Cordillera de la Costa que se ubican al norte del estado y se dispone con orientación preferencial este-oeste. En la zona central del estado se localiza el Lago de Valencia. La disposición del relieve hacia el sur del estado es combinado entre depresiones y elevaciones. En general el 75% del estado se considera montañoso no sobrepasando los 2.000m sobre el nivel del mar.

La geología de la zona de estudio interpretada del mapa geológico URBANI (2015) es variada y principalmente metamórfica; se puede describir como franjas alargadas de oeste a este. La zona norte del estado se compone por la Faja Ávila y en menor medida por la Faja Caracas y pequeñas porciones de la Faja Costera; estas tres fajas forman parte de los terrenos alóctono metamórficos de la serranía del litoral. En la zona central que abarca el Lago de Valencia y sus proximidades se presentan depósitos de material cuaternario. Desde el Lago de Valencia en dirección sur se distribuyen diversos terrenos alóctonos metamórficos de la serranía del interior distribuidos hacia sur con el siguiente orden, Faja Caucagua-Tinaco, Faja Loma de Hierro, Faja Villa de Cura la de mayor extensión, y más al sur hay presencia de la Napa Piemontina y el Olistostromo de Platillón.

1.3 Planteamiento del problema

El estado Carabobo cuenta con una importante franja costera, una zona de media montaña, y una amplia área de relieve deprimido combinados con pequeñas elevaciones. El material litológico presente en estas áreas se ve afectado por la continua meteorización y erosión que caracteriza a las zonas tropicales generando nuevo material sedimentario, este material es transportado por la amplia red fluvial que permite el desarrollo de nuevos depósitos de sedimentos tanto fluviales como aluviales compuestos en gran parte por material arcilloso. Este material arcilloso generado a partir de rocas ígneas, metamórficas y meta-sedimentarias que se encuentran en la zona de estudio, poseen diversa composición mineral que es importante diagnosticar, debido a que tiene implicaciones para solventar adversidades en obras civiles abarcando

aspectos geotécnicos o incluso económicos e industriales con la intención de la explotación mineral o para fabricación de cerámicas y ladrillos.

Se conocen trabajos académicos y artículos científicos previos que han desarrollado la caracterización de muchos de los cuerpos arcillosos del área de estudio, pero con la salvedad que lo realizan como estudios locales y aislados. Esto lleva a que la información existente se encuentre dispersa, por lo que no se permite conocer la distribución general en todo el estado de estos cuerpos de arcilla dispuestos de manera superficial.

Es por esto que se hace necesario compilar toda la información disponible con la intención de desarrollar la visión general de los cuerpos arcillosos dispuestos en el estado Carabobo, para de esta manera facilitar la consulta y favorecer la investigación.

1.4 Objetivo general

Caracterizar geológicamente el material de naturaleza arcillosa que se encuentra superficialmente en el estado Carabobo

1.5 Objetivos específicos

- Realizar una compilación bibliográfica y cartográfica de trabajos académicos, artículos científicos y estudios que ahonden en los rasgos mineralógicos presentes en los cuerpos arcillosos del área de estudio.
- Desarrollar la caracterización por medio de análisis de Difracción de Rayos X (DRX) de los tipos de arcillas presentes en el área de estudio, los mismos serán recopilados de trabajos previos y otros serán ensayos inéditos elaborados de muestras suministradas por empresas o instituciones públicas.
- Desarrollar una base de datos en la que se muestre la ubicación y posibles usos industriales y comerciales de las arcillas que fueron caracterizadas en el área de estudio.
- Elaborar un mapa geológico general a escala 1:100.000 en función de una serie de mapas detallados a escala 1:25.000 en el que se representen los cuerpos de arcillas caracterizados en el estado Carabobo.

1.6 Justificación

Este trabajo es parte de un proyecto macro a nivel nacional conocido como “Atlas de depósitos de arcilla en Venezuela” el cual busca caracterizar y generar una base de datos tanto bibliográfica como cartográfica de los cuerpos de arcillas dispuestos de manera superficial en el país.

Las cualidades del estado Carabobo plantean oportunidades ideales para el aprovechamiento de los recursos minerales que le permitan al estado elaborar un progresivo y sustentable plan de desarrollo; ligado al uso de los minerales de arcillas para industrias como la cerámica o alfarera, o en industrias como la química o farmacéutica, llegando incluso abarcar la explotación con fines de extracción de material para construcciones civiles, tanto públicas como privadas. Para esto el conocimiento geológico sólido del área es la base para poder acometer proyectos de explotación minera de forma racional.

Además del ámbito económico, desde la perspectiva social el desarrollo de esta investigación es destacable, ya que por esta se podrán conocer las áreas susceptibles a riesgos geológicos ligados a arcillas expansivas. De esta manera es la sociedad y el mismo estado los principales beneficiarios de este estudio.

Recopilar y ordenar la gran cantidad de información de arcillas es posible gracias a los diferentes estudios previos y muestras reunidas por empresas privadas y públicas relacionadas a la industria alfarera y de la construcción, a las publicaciones de congresos, a los estudios técnicos y a los trabajos especiales de grado previos que han desarrollado análisis de DRX en las arcillas dispuestas en el estado.

Desarrollar la base de datos que muestre la ubicación, extensión, usos y mineralogía presente en esos cuerpos arcillosos permite contar con una herramienta idónea para orientar el desarrollo económico, social y la investigación científica.

1.7 Alcances

La principal repercusión del trabajo es la generación de un mapa geológico que muestre la distribución de los cuerpos de arcilla en el estado Carabobo.

La generación del mapa aunado al desarrollo de una base de datos que involucra usos comerciales e industriales pueden permitir el uso con fines económicos del trabajo; esto pone al alcance del estado nación desarrollar planes de concesión para la explotación de estos recursos minerales o para el desarrollo de vialidades u obras civiles, y a las comunidades conocer las características de la zona donde habitan o transitan.

Precisamente la base de datos con posibles usos industriales y comerciales permite a las empresas privadas planificar prospecciones o explotaciones minerales e incluso reorientar el uso del material arcilloso del cual disponen.

1.8 Antecedentes

- INVESTI (1962). Es la primera investigación en el país referente a cuerpos de arcillas. El trabajo permitió determinar la calidad y el tipo de uso industrial de las arcillas alrededor del país. Cartografiaron los yacimientos en un mapa geológico y remitieron las pruebas recolectadas a laboratorios donde se realizaron ensayos para determinar la calidad de las arcillas.
- PEERTERS (1968). Identificó la fuente de los sedimentos de la cuenca del Lago de Valencia en las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa y diferencio las arcillas presentes distinguiendo 9 tipos diferentes donde destaca la mineralogía de illita, caolinita y montmorillonita.
- RODRÍGUEZ (1991). Describe la mineralogía de la fracción limo-arcilla por medio de difracción de rayos X de tres ambientes del estado Lara. Señala que los suelos del Rio Turbio y los de la depresión tectónica de Quíbor muestran las mismas propiedades, mientras que los localizados en los Andes Larenses se diferencian. De los resultados se obtuvo una interpretación ecológica de los suelos.

- GUÉDEZ Y PÉREZ (1993). Caracterizaron la mineralogía de la fracción de arcilla de tres perfiles de suelos de la zona montañosa del estado Lara. Por medio de difracción de rayos X diagnosticaron la presencia de vermiculita cloritizada, clorita, mica-illita, cuarzo, caolinita, pirofilita, feldespatos y lepidocrocita.
- PADRÓN (2002). En un estudio sedimentológico destacó la presencia de una gran reserva de limos y arcillas explotables comercialmente y los asocia a la cuenca holocena que se extiende desde Tocuyito en el estado Carabobo hasta Taguanes en el estado Cojedes.
- HERNÁNDEZ (2006). El estudio enmarcado en la zona sur del estado Aragua en las proximidades del Lago de Valencia identificó por DRX la composición mineralógica de esmectita (48%), illita (30%) y caolinita (22%). La esmectita es señalada como montmorillonita sódica la cual es la arcilla de mayor capacidad expansiva. Este trabajo señala que los suelos presentes en la zona de estudio son proclives colapso si son saturados por el agua.
- GUEVARA Y LÓPEZ (2012). Evaluaron y cartografiaron las arcillas expansivas y dispersivas en tres localidades al norte de Venezuela, una de las localidades abarca la franja norte del estado Carabobo en Morón hasta Mirimire en el estado Falcón. Por medio de DRX cuantificaron la mineralogía en caolinita (57,3%), esmectita (12%) e illita (32%) aproximadamente, en la evaluación de plasticidad el índice obtenido es de 25%, además identificaron dos zonas de alta expansión, dos de mediana expansión y una de baja expansión.
- GONZÁLEZ; BEZADA; MILLÁN & CARRERA (2013). Abordaron la caracterización mineralógica por difracción de rayos X de las arenas y arcillas de los depósitos de canal y de la planicie de inundación del Río Portuguesa. Determinaron las relaciones entre la mineralogía y el origen del sedimento. Las arenas se componen principalmente de cuarzo formando arenas maduras y su origen está ligado a material proveniente del orógeno andino y la cordillera del interior, a su vez las arcillas están constituidas mayoritariamente por cuarzo y

caolinita, con cantidades menores de illita, moscovita, clorita, vermiculita y montmorillonita.

- CHARRABE (2015). Determinó la mineralogía presente en el material arcilloso de la laguna de sedimentación de una empresa arenera en Tocuyito, estado Carabobo. Identificó además que el material arcilloso es ideal para la industria alfarera y de la cerámica.

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

El estudio se compone de cuatro fases que al ser cumplidas a cabalidad conllevan a alcanzar el objetivo de la investigación. Estas etapas son: recopilación bibliográfica y cartográfica, verificación de DRX y obtención de muestras o ensayos, trabajo de laboratorio y trabajo de oficina (ver figura 2).

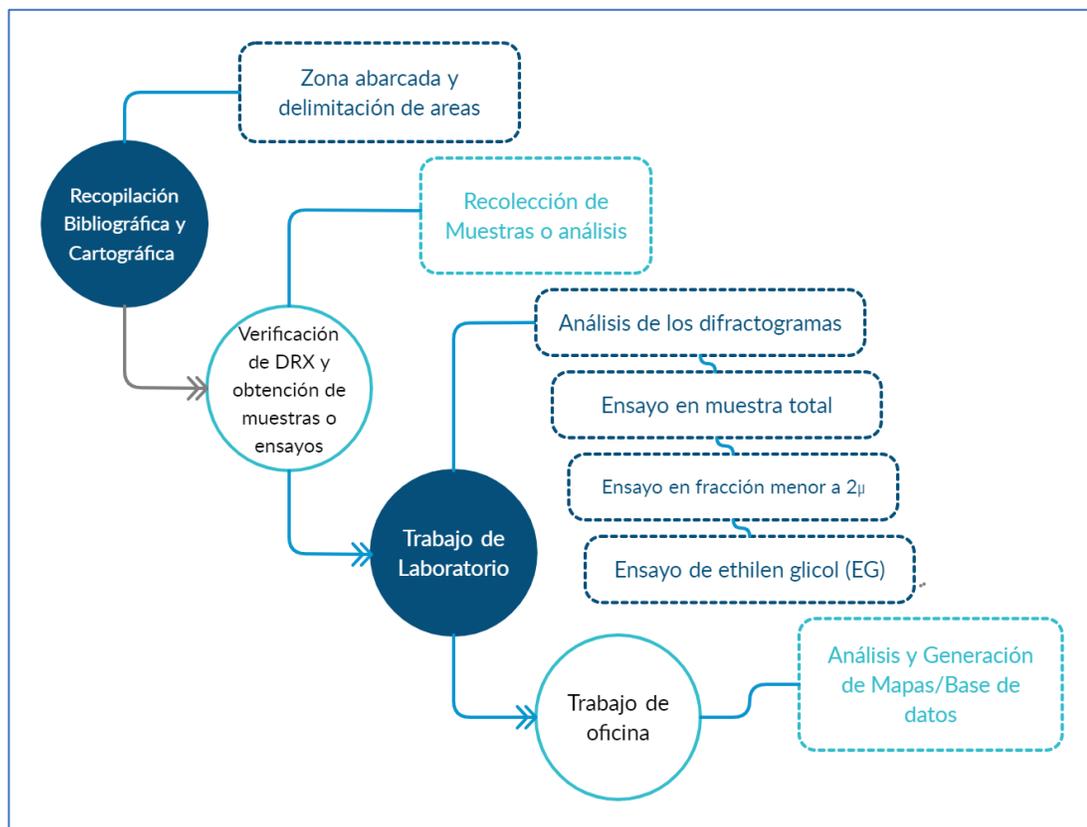


Figura 2. Diagrama Metodológico

2.1 Fase de recopilación bibliográfica y cartográfica

Esta fase implica la búsqueda, revisión y organización de la información bibliográfica que indague sobre la mineralogía, ubicación y características de los cuerpos arcillosos presentes en la superficie del estado, siendo a su vez necesario

complementar esta información con la geología regional del estado Carabobo. Se completa la información con la compilación de mapas con bases tanto topográficas como geológicas.

La información consultada es de distintos niveles como trabajos de grado o estudios técnicos, se hace necesario emplear un análisis crítico de la información.

2.2 Fase de verificación de DRX y obtención de muestras o ensayos

Esta fase implica la obtención y verificación de todos aquellos estudios que han sido identificados en la fase anterior por poseer análisis de DRX de muestras de arcillas en el estado Carabobo, la información obtenida de estos trabajos es analizada con la intención de diagnosticar la calidad de los mismos y de esta manera poder hacer uso de los estudios.

Con la generación de la base bibliográfica y cartográfica se procede a realizar contacto con empresas privadas e instituciones públicas que pueden poseer muestras o difractogramas de los tipos de arcillas presentes en el estado Carabobo.

El proceso de obtención contempla los siguientes parámetros:

- Elaborar una base de datos de las instituciones a contactar.
- Solicitar las muestras o difractogramas con interés académico.
- La cantidad de material obtenido por muestra debe superar al menos 1kg.
- La muestra o difractograma debe estar preferiblemente geolocalizada.

2.3 Fase de trabajo de laboratorio

Posterior a la obtención de las muestras y difractogramas, se procede en laboratorio a identificar la mineralogía presente en las muestras, por medio de difracción de rayos X; para el caso de los difractogramas obtenidos se procede a elaborar un análisis crítico del tipo de ensayo realizado y las condiciones de los mismos, esto con la finalidad de evaluar y comprobar los resultados expresado por el autor de dicho estudio acerca de las especies minerales de arcilla identificadas.

2.3.1 Difracción de rayos X (GRANDE, 2000)

El difractómetro de rayos X permite identificar minerales y sustancias cristalinas GRANDE (2000) señala las diferentes características de este proceso:

- Se irradia la muestra con rayos X paralelos con longitud de onda restringida y monocromática.
- La muestra es preparada en polvo fino y se coloca en un porta muestra
- Cada sustancia identificada muestra resultados únicos.
- Se identifican los picos de difracción que arrojan los registros que permiten señalar la especie mineral.
- Para la identificación de los picos se puede consultar los ficheros y por medio de una comparación entre los resultados y la base de datos se puede llegar a un diagnóstico de la especie mineral.

2.3.2 Análisis de muestra total (FOURNIER, 1999)

En esta sub fase se identifica la mineralogía total de la fracción de arcilla de la muestra colectada y los politipos de minerales de arcilla. El equipo usado para esto será el difractómetro Philips del laboratorio de fluorescencia de rayos x del Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V con tubo de cobalto. Los pasos para este proceso son los siguientes:

- La muestra es pulverizada hasta obtener un polvo con tamaño aproximado a las 10 μ
- Colocación de un vidrio esmerilado a una placa de difracción, el vidrio es ajustado con una cinta. Se debe voltear el conjunto vidrio esmerilado-placa
- Se agrega el polvo a la placa.
- Se coloca un vidrio y se ajusta con cinta, sin hacer presión para no derramar la muestra.
- Se voltea el conjunto y retira el vidrio esmerilado. Quedando de cara a la incidencia de los rayos x.

2.3.3 Ensayo para la fracción menos de 2 μ (FOURNIER, 1999)

Esta sub fase permite evaluar la fracción de filosilicatos según sus planos basales. De esta forma es posible identificar y cuantificar los minerales de arcilla presente en la muestra, de igual manera se usara el equipo Philips presente en el laboratorio de fluorescencia de rayos X del Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V esta vez utilizando tubo de cobre. Los pasos para este proceso son los siguientes:

- Se debe emplear una muestra que no ha sido alterada ni física ni químicamente.
- Se pulveriza la muestra con un mortero sin llegar a moler, por 30 segundos.
- Para eliminar los carbonatos se añade acetato de sodio con un pH de 5.1 y se agita por 2 minutos Se dispersa con ultrasonido por 2 minutos el líquido contenido en el tubo
- Se reposo la muestra en baño de María por al menos 12 horas a 80 °C.
- La muestra pasa a un tubo de centrifuga y se añade agua desmineralizada para equilibrar los pesos.
- Se centrifuga a 2.000 rpm por 15 minutos y se vierte el líquido sobrante.
- Se elimina la materia orgánica con peróxido de hidrogeno concentrado al 35%, se agrega entre 5-10 ml a una temperatura de 60 a 70 °C y se debe esperar hasta que la reacción termine.
- Se traslada la muestra a un tubo de centrifuga y se añade agua desmineralizada. Se vuelve a centrifuga a 2.000 rpm por 15 minutos y se vierte el líquido sobrante.
- Se añaden 40 ml de citrato de sodio con un pH de 7.5 para eliminar el óxido de hierro. Se agita la muestra por 2 minutos y se dispersa con ultrasonido por 2 minuto el líquido contenido en el tubo
- La muestra se deja en reposo en baño de María a temperatura de 80 °C.
- Se añade 1g de ditionito de sodio a la muestra e inmediatamente se agita por un minuto, este proceso se repite tres veces con espacios de reposo de 2 minutos.

- Se traslada la muestra a un tubo de centrifuga para realizar el proceso a 2.000 rpm por 15 minutos.
- Se añade citrato de sodio y se agita por 2 minutos para volver a centrifugar. Este proceso se repite 3 veces, pero las dos últimas se le añade agua desmineralizada.
- Se procede a separar la fracción fina de la gruesa a través de la decantación siguiendo la Ley de Stokes. Se agrega la muestra disgregada en un vaso precipitado con agua desmineralizada, se remueve por 1 minuto y se deja reposar por al menos 5 minutos para que la sección más gruesa se decante al fondo del vaso.
- Colocar el líquido que contiene la parte fina en un aparato de filtrado por vacío, luego de esto, se prende la bomba y comienza el proceso de filtrado
- Terminada la filtración, se procede a sacar la membrana la cual contiene la fracción menor a 2μ retenida. Esta se coloca en un porta muestra de vidrio y se deja secar.

2.3.4 Análisis de difracción de rayos X (FOURNIER, 1999)

Se inicia la corrida con el difractómetro y es necesario para esto calibrar con los siguientes parámetros (ver tabla 1).

Tabla 1. Parámetros para las corridas en el difractómetro y ajustes del goniómetro. Tomado de FOURNIER, 1999

Parámetros	Ensayo muestra total	Ensayo en fracción menor a 2μ
Intervalo de barrido	3 – 69°	2 – 35°
Tamaño del paso	0,02°2 θ	0,02°2 θ
Tiempo de cada conteo	1,25 seg	0,800 seg
Velocidad	0,016°2 θ /seg	0,016°2 θ /seg
Ranura divergente	1°	1,5°
Ranura receptora	0,1°	0,2°
Tipo de montura	Desorientada	Orientada

2.3.5 Tratamiento con etilén glicol

Con la intención de identificar la presencia de arcillas expansivas, se aplica a las muestras un ensayo con etilén glicol.

1. En un envase de vidrio sellado se agregan 200ml de EG.
2. Se agrega la muestra en el envase sin mezclar.
3. Se coloca el envase en un horno a 60 °C por al menos 12 horas.
4. Se retiran las muestras e identifican.

2.3.6 Identificación y cuantificación de los minerales

Se identifican los minerales según los registros de DRX por medio de los picos que muestra el difractómetro, se emplea una identificación por comparación con la base de datos existentes de las más de 4.000 especies minerales y otras sustancias cristalinas.

2.3.7 Relación de Illita (SRODON, 1984)

Es un método analítico y cuantitativo que permite conocer el tipo de illita presente en un difractograma. Si el índice es mayor o igual a 1 el mineral de illita se encuentra acompañado de esmectita interlamina en algún porcentaje. La ecuación para conocer el Ir es:

$$\text{Relación de Illita: } Ir = [I_{(001)}/I_{(003)}] \text{ aire} / [I_{(001)}/I_{(003)}] \text{ glicolada}$$

2.4 Fase de trabajo de oficina

Es la fase final del trabajo que permite alcanzar los objetivos planteados. En esta fase se desarrollan tres elementos:

1. Mapas geológicos donde se señalan las muestras de arcilla analizadas.
2. Generación de base de datos con las posibles aplicaciones de los cuerpos de arcillas identificados.
3. Análisis de resultados y conclusiones sobre el trabajo elaborado.

La generación del mapa se realiza en un software denominado sistema de información geográfica (S.I.G) como Qgis o ArcGis© que permiten levantar la

cartografía de la zona de estudio de manera digital, lo que facilita ubicar las muestras y señalar las zonas de influencia de los diferentes cuerpos de arcillas.

La generación de la base de datos para el aprovechamiento de los recursos identificados es asociada a la base topográfica, esto otorga como resultado un sistema de consulta interactivo que señala la ubicación, mineralogía, y posibles aplicaciones de los cuerpos arcillosos en la superficie del estado Carabobo.

El análisis de resultados se realiza en función a los resultados obtenidos en la fase de laboratorio, se desarrollan las tablas, figuras y gráficos que orientan la información y se realiza un análisis que permite clarificar las conclusiones dando respuesta a los objetivos del trabajo

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3.1 Bases Conceptuales

Los fundamentos teóricos que se desarrollan en este apartado son los necesarios para permitir la comprensión de la investigación y además sustentar la teoría que otorga fundamento a los desarrollos prácticos como bien pueden ser los ensayos o análisis de muestras que contempla esta investigación.

3.1.1 Arcilla

Dependiendo del contexto el término puede tomar diferentes connotaciones. LINARES *et al.* (1983) señalan que en el argot popular las arcillas son todos aquellos materiales que se encuentran en la naturaleza, sobre la superficie terrestre, que al ser mezclados con agua tienden a formar una masa de características plásticas que permite la fabricación de productos cerámicos. Ahora bien, entrando en contextos más especializados como la Sedimentología o la Geotecnia, encontramos el concepto de “fracción arcilla” o “fracción fina” refiriéndose con esto a todas las partículas menores a 2 μm en un conjunto de sedimentos. Profundizando aún más en la terminología, sabemos que en esa fracción arcilla del sedimento predominan los conocidos como “minerales de la arcilla” que son minerales con estructura laminar o también llamados filosilicatos dentro de los que destacan la illita, montmorillonita, clorita y caolinita.

3.1.2 Minerales de la arcilla

Dentro de los silicatos encontramos una serie de minerales bastante comunes en ambientes sedimentarios, con un hábito hojoso que les caracteriza y que permite dar nombre a su clasificación. DANA (1960) entiende que los filosilicatos son los minerales que presentan como unidad fundamental una hoja infinita de tetraedros (t) de silicio-oxígeno Si_2O_5 , que comparten tres de sus cuatro oxígenos con sus vecinos,

los oxígenos no compartidos son llamados oxígenos apicales, la gran mayoría de filosilicatos contienen hidroxilos que se agrupan de forma octaédrica (o) con un catión en el centro que puede ser de Mg^{+2} o Al^{+3} ; en el primer caso forma capas de brucita en hojas trioctaédricas y en el segundo caso generan capas de gibbsita en hojas dioctaédricas, la unión de estas hojas t-o recibe el nombre de lámina y son las que dan forma a la caolinita (ver figura 3).

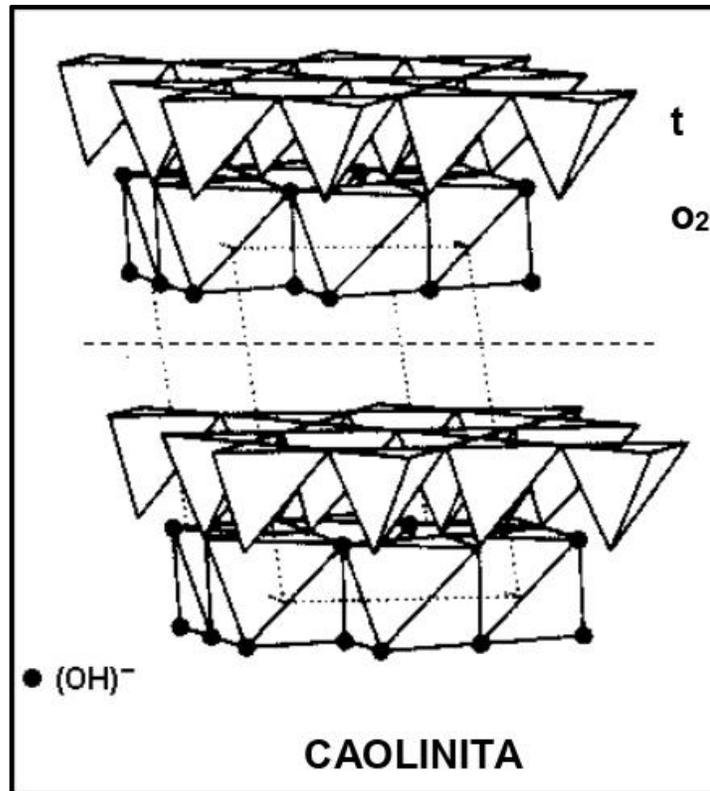


Figura 3. Hoja dioctaédrica de Caolinita. Modificado de ZOLTAI & STOUT (1976)

De esta manera las diferentes combinaciones de las hojas (t)-(o), sumada a variaciones en la estructura como puede ser la integración de capas H_2O dan origen al resto de especies minerales denominadas minerales de la arcilla. GRANDE (2000) indica que la esmectita por ejemplo, es el resultado de la combinación de dos hojas (t) entre una hoja (o) de gibbsita formando una especie de “sandwich” intercalado por capas de H_2O molecular que puede contener cationes de Na, Ca, K, Mg, etc. Esta molécula de agua forma un enlace débil por lo que tiene la capacidad de entrar o salir de la estructura con facilidad. La illita estructuralmente es igual a la esmectita con la

salvedad de que entre las capas (t)-(o)-(t) se integran capas de H₂O molecular con cationes libres. La vermiculita se forma por una estructura similar a la esmectita con la salvedad de que esta hoja (o) de la estructura es de brucita. Las especies minerales de la arcilla como las esmectitas y en menor grado la vermiculita, son conocidas como “arcillas expansivas” ya que pueden incorporar hasta 15 veces su volumen en agua (ver figura 4).

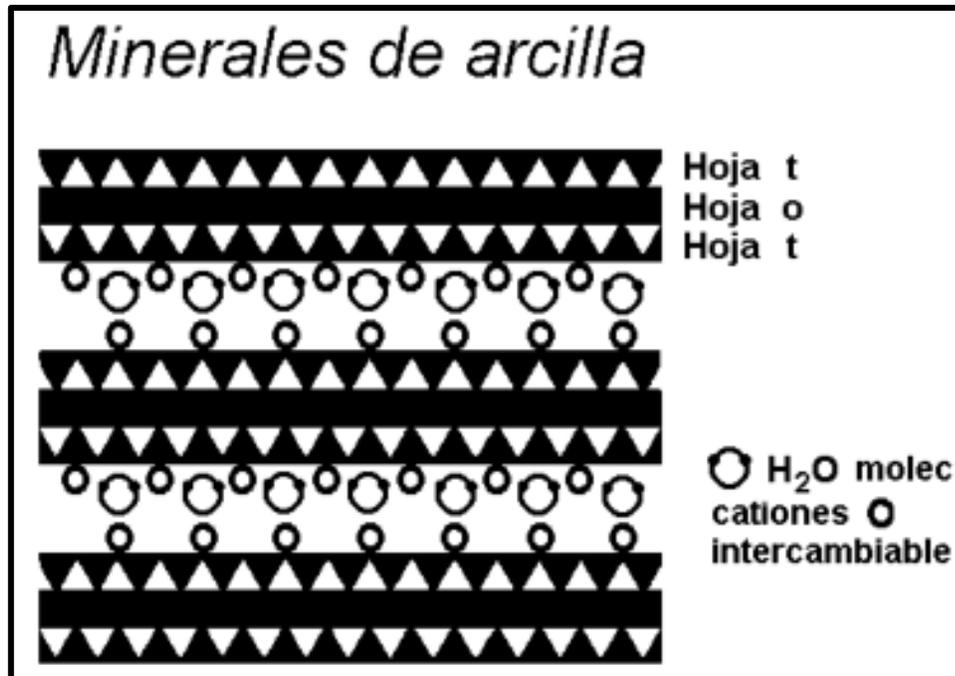


Figura 4. Tipo de enlace de los minerales de arcilla tipo (t)-(o)-(t). Modificado de HAZEN & FINGER (1985)

Tomando como base a SNETHEN *et al.* (1975) podemos entender entonces que los minerales de la arcilla se pueden clasificar en tres tipos (ver tabla 2):

- Arcillas de dos capas o T: O, está configurado por una capa tetraédrica de silicio en conexión con una capa octaédrica de aluminio.
- Arcillas de tres capas o T: O: T, está configurada por una capa octaédrica entre dos capas tetraédricas.
- Arcillas de capas mixtas, se configura como una interestratificación de dos o tres estructuras de capas, pudiendo ser estas regulares o aleatorias.

Tabla 2. Clasificación de los filosilicatos. Modificado de GARCÍA & SUAREZ (2003)

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS	
BILAMINARES T : O 1:1	CANDITAS	Caolinita	SERPENTINA	Antigorita
		Nacrita		Crisotilo
		Dickita		Lizardita
		Halloisita		Bertierina
TRILAMINARES T : O : T 2:1	PIROFILLITA		TALCO	
	ESMECTITAS	Montmorillonita	ESMECTITAS	Saponita
		Beidellita		Hectorita
		Nontronita		
	VERMICULITAS			
	ILLITAS			
	MICAS	Moscovita	MICAS	Biotita
		Paragonita		Flogopita
				Lepidolita
	T : O : T : O 2:1:1	CLORITAS		
FIBROSOS	PALIGORSKITA		SEPIOLITA	

3.1.3 Clasificación de las arcillas

La clasificación de los minerales de la arcilla es un tema de debate en la geología, a continuación se presenta la clasificación de BAILEY & CHAIRMAN (1980) que ha sido aprobada por la Association Internationale pour l'Étude des Argiles (A.I.P.E.A) (ver tabla 3)

Tabla 3. Clasificación de minerales aprobada por A.I.P.E.A elaborada por BAILEY & CHAIRMAN (1980)

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	Moscovita, paragonita
		Mica trioctaédrica	Flogopita, biotita, lepidolita
	Mica Frágil	Mica frágil dioctaédrica	Margarita
		Mica frágil trioctaédrica	Clintonita, anandita
	Clorita	Clorita dioctaédrica	Donbasita
		Clorita di, trioctaédrica	Cokeita, sudoita
Clorita trioctaédrica		Clinocloro, chamosita, Nimita	

*El estatus de la illita, sercita, etc. Debe ser dejado abierto hasta el presente, debido a que aun no esta claro en que nivel de la tabla deba ser clasificada.

GARCÍA & SUAREZ (2003) se alejan de la clasificación mineralógica y plantean una clasificación por usos industriales de los minerales de la arcilla. Definen dos ramas según el destino último de su explotación:

- Arcillas Cerámicas: Representan el 90% de la explotación y su uso está destinado como material de construcción y agregados. Son generalmente arcillas compuestas por illita y esmectita con cantidades variables de otros minerales como podrían ser carbonatos o cuarzo.
- Arcillas especiales: Representan solo el 10% de la explotación, pero significan más del 70% del valor de las arcillas comerciales. Son arcillas mono minerales destinadas a la fabricación de papel, caucho, pintura, absorbente, producto químico, farmacéuticos y otros. Dentro de las arcillas especiales se esquematiza una segunda clasificación según su uso:
 - Caolines y arcillas caoliníferas: Utilizado principalmente en la industria del papel, también se emplea en la elaboración de cerámicas refractarias, otros usos lo encontramos en la industria química y en los cosméticos
 - Bentonitas: Utilizado principalmente como lodo de perforación, absorbente, detergentes, industria de la pintura, agricultura. También tiende a emplearse como arena de moldeo.
 - Paligorskita-Sepiolita: Empleado en la industria de la agricultura como fertilizante, también es usado como absorbente y en aerosoles.
 - Otros tipos de arcillas especiales: en estas encontramos las halloysitas, hectoritas, ambas especies escasas en el mundo.

3.1.4 Difracción de Rayos X

Los rayos X son un tipo de radiación electromagnética que se encuentra entre el espectro de los rayos gamma y el ultra violeta, se caracteriza por una longitud de onda corta de alrededor a 1 Angstrom (Å) y de una alta frecuencia entorno a los 3 millones de THz (tera-herzios). Es empleado en las ciencias geológicas para la identificación de minerales a través de su estructura cristalina, esto lo destacan CASTRO Y RIVERO (2010) los cuales establecen que la ordenación atómica de las

arcillas se puede determinar por medio de difracción de rayos X, ya que este medio permite medir el espacio existente entre los planos atómicos, esto vendría siendo el espacio entre el grosor de las láminas. Con obtener el valor del ángulo del rayo X cuando es difractado podemos conocer el espacio interplanar, para esto debe cumplirse con la Ley de Bragg, de la siguiente forma:

$$n\lambda = 2d \cdot \text{sen}(\theta)$$

λ = Longitud de Onda

d = Espaciamiento entre planos del cristal

θ = Ángulo de incidencia

El resultado de este ensayo, es un difractograma que muestra generalmente la intensidad de la onda difractada en uno de sus ejes y el ángulo 2θ del rayo en el otro. Cada especie mineral tiende a difractar con un ángulo característico distintivo y de esta manera puede diagnosticarse la especie mineral.

3.1.5 Sistemas de Información Geográfico (S.I.G)

Es una tecnología utilizada principalmente en el ámbito científico y dentro de este tiene mucha repercusión en las ciencias de la tierra, ya que permite hacer de manera eficaz la gestión del territorio y sus recursos. De esta manera SASTRE (2010) se permite definirlo como una integración organizada del hardware, software, datos geográficos y personales que permite entre otras cosas almacenar y representar información geográfica referenciada con la intención de solucionar problemas de planificación y gestión. El S.I.G trabaja como una base de datos con información geográfica en un mapa digital, así al señalar un objeto dentro de ese mapa se pueden conocer sus atributos o de manera inversa consultando el registro se puede destacar la localización cartográfica de un objeto (ver figura 5).

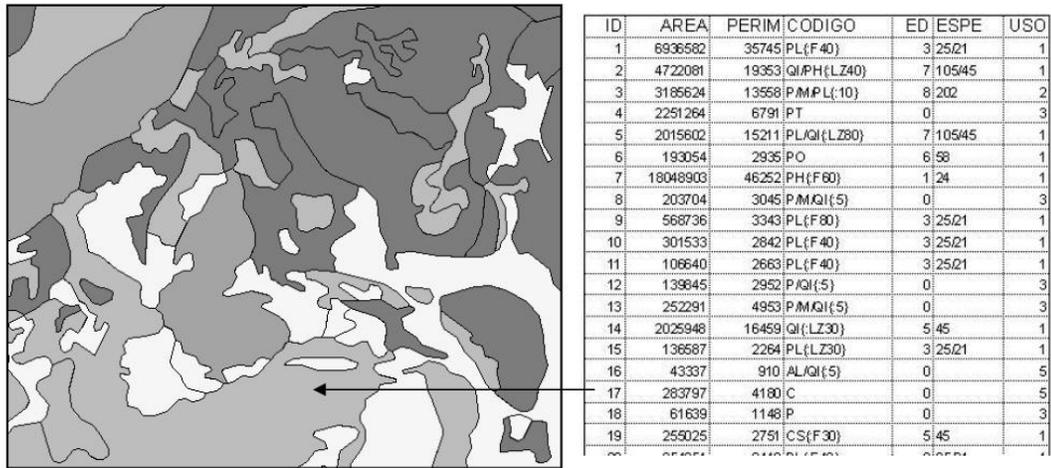


Figura 5. Almacenaje de atributos de un sistema vectorial en un SIG. Tomado de SASTRE (2010)

3.2 Marco Geológico

3.2.1 Generalidades

Los estudios de cartografía geológica para el área norcentral de Venezuela son iniciados por AGUERREVERRE & ZULOAGA (1937) y son posteriormente ampliados por MENÉNDEZ (1966) quien fue el primero en dividir el área en 4 fajas denominadas Cordillera de la Costa, Cauagua-El Tinaco, Paracotos y Villa de Cura.

Algunos años más tarde BECK (1986) introduce el término “napas” para las estructuras de la Serranía del Interior denominándolas Cauagua-El Tinaco, Loma de Hierro y Villa de Cura, esto con la intención de describir su origen tectónico. Son URBANI & OSTOS (1989) quienes finalmente discriminan la faja de la Cordillera de la Costa en tres diferentes denominadas fajas Costera, Ávila y Caracas, además de esto prolongan su zona de influencia desde Cabo Cordera hasta el estado Yaracuy.

En la actualidad URBANI (2015) describe que el área norcentral de Venezuela está dominada por un sistema montañoso el cual posee 350km de longitud, 80 km de ancho y es conocido como Cordillera de la Costa (CdIC); esta cadena forma parte del Sistema Montañoso del Caribe(SMC) teniendo su origen en la interacción entre las placas Suramericana y del Caribe, la misma se divide con interés geográfico en las serranías del Litoral y del Interior, ambas separadas por el sistema de fallas de La Victoria.

Finalmente gracias a múltiples trabajos especiales de grado diversos autores han compilado, integrado y reagrupado las rocas de las diferentes fajas de la CdIC, subdividiendo las mismas con el término “terrenos” (Tabla 4).

Tabla 4. División de la CdIC (fajas, napas y terrenos).Modificado de URBANI (2015)

MENÉNDEZ (1966), fajas	BECK (1986), napas	URBANI & OSTOS (1989),fajas	URBANI (2015), Fajas	URBANI (2015), Terrenos
Cordillera de la Costa	Margarita-Costera	Costera	Costera (septentrional)	Tacagua(S.S.)
				Carayaca
	Cordillera de la Costa	Ávila	Ávila (central)	Ávila
				Nirgua
		Caracas	Caracas (meridional)	Los Cristales
				Las Mercedes
				Las Brisas
Caucagua - El Tinaco	Caucagua - El Tinaco	Caucagua - El Tinaco	Caucagua - El Tinaco	Tinaco Cachinche Tucutunemo Tácata
				Tacagua (Caucagua)
Paracotos	Loma de Hierro	Loma de Hierro	Loma de Hierro	Paracotos
				Loma de Hierro
Villa de Cura	Villa de Cura	Villa de Cura	Villa de Cura	Villa de Cura
				San Sebastián

La división geográfica de la CdIC cumple criterios geológicos, dividiéndose en unidades autóctonas, para-autóctonas y alóctonos. Es por esto que URBANI (2015) las diferencia en serranía del Litoral (N° 5) y serranía del Interior (N° 6) (ver figura 6), separadas por el sistema de fallas de La Victoria.

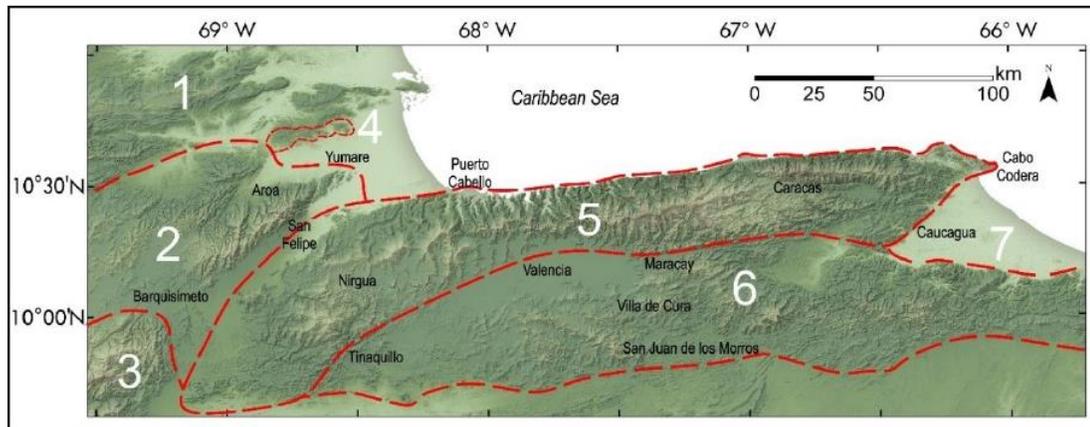


Figura 6. División geográfica de Venezuela norcentral. Modificado de URBANI (2015). Donde N° 5 corresponde a serranía del litoral y N° 6 a serranía del interior

3.2.2 Descripción litológica

Al norte del estado Carabobo se presenta en forma de franja alargada de este a oeste la Serranía del Litoral en el cual destaca los terrenos de Tacagua, Carayaca, Ávila, Nirgua, Las Brisas y Las Mercedes (ver figura 7) (ver tablas 5, 6, 7). El Terreno Tacagua de edad Cretácico Tardío está compuesto por la unidad de Esquisto de Tacagua que es una asociación de esquisto albítico-calcítico-cuarzo-micáceo-grafítico de color gris oscuro concordante con esquisto cuarzo-albítico-actinolítico-clorítico-moscovítico donde se consiguen algunos cuerpos de anfibolita epidótica; son NAVARRO *et al.* (1988) quienes definen a la Fase Tacagua separándola del Grupo Caracas del Complejo La Costa.

El Terreno Carayaca de edad Jurásico-Cretácico Temprano se compone por dos unidades conocidas como el Complejo Carayaca de mayor extensión y el de Mármol de Antímamo. Es OSTOS (1990) quien define al terreno como un *melange* de subducción donde se asocian rocas continentales con rocas piso oceánico; la unidad del Complejo Carayaca consiste en metasedimentos y rocas máficas como eclogitas, anfíbolitas y metagabros. La unidad del Mármol de Antímamo presenta intercalaciones de anfíbolitas granatífera y cuerpos de eclogitas lenticulares.

Por su parte el Terreno Ávila según URBANI (2004) se divide en el bloque Oriental que se encuentra exhumado y el Occidental de menor grado de exhumación pero de mayor interés en la zona de estudio, la unidad dominante de este bloque es

conocida como Complejo San Julián de edad Neoproterozoico-Paleozoico compuesto de rocas metasedimentarias como esquisto, gneis cuarzo-plagioclásico-micáceo, mármol y también rocas metaígneas de origen continental que van desde tonalíticas a graníticas. El complejo San Julián al menos según estudios de la región de Caracas se asienta inconformemente sobre el Augengneis de Peña de Mora.

En el caso del Terreno Nirgua es URBANI (2013) quien propone separarla del Complejo Carayaca fundamentando su descripción en la antigua Formación Nirgua y redefiniéndola como Unidad de Complejo Nirgua, se compone de diversas litologías como esquisto cuarzo-micáceo, esquisto micáceo-grafítico, mármol, cuarcita, gneis cuarzo-micáceo-feldespático y rocas carbonáticas presentes en forma lenticular. Su edad es Pérmico-Jurásico.

La unidad del Terreno Las Brisas se denomina Esquisto Las Brisas y es de edad Jurásico Tardío-Cretácico Temprano, ha sido ampliamente estudiada desde AGUERREVERE & ZULOAGA (1937) quienes la definen como Formación. La litología consiste de esquisto cuarzo-feldespático-moscovítico y LAUBSCHER (1955) incluyen cuerpos de mármol dolomítico.

El terreno de Las Mercedes se diferencia en dos unidades denominadas el Esquisto de Chuspita y el Esquisto de las Mercedes siendo este último el resaltante en la zona de estudio. AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937) son los primeros en definirla y trabajos posteriores han mantenido la uniformidad en la descripción. Litológicamente son esquistos cuarzo-moscovítico-calcítico-grafitoso con algunas inserciones de mármol lenticular.

En la zona norte que va desde las proximidades de Puerto Cabello hacia el oeste en dirección a Morón, por toda la zona de franja costera, aflora parte de la cobertura sedimentaria entre las que destaca las Formaciones Matatere II, Barquisimeto, Maporita y Las Pailas. La Formación Matatere II de edad Paleoceno-Eoceno medio es definida por BELLIZZIA & RODRÍGUEZ (1966,1967) pero es STEPHAN (1982) quien la incluye en el “complejo tectono-sedimentario Lara”; litológicamente se compone de secciones gruesas turbidíticas con areniscas impuras, secciones de arenisca conglomerática y conglomerados, hacia la base y el tope se ubican olistolitos.

Para el caso de la Formación Barquisimeto de edad Cenomaniense-Maastrichtiense es BUSHMAN (1959) quien la introduce pero recae en BELLIZZIA (1986); MACSOTAY *et al.* (1987) detallarlas con mayor precisión, Se compone de lutitas, limolitas, margas compactadas y calizas hacia la parte inferior de la Formación, muestra indicios de leve metamórficos.

Formación Maporita de edad Plioceno Tardío - Pleistoceno es introducida por BELLIZZIA & GONZÁLEZ (1968) está compuesta por conglomerado de matriz arenácea mostrando niveles ferruginosos con algunas gravas, areniscas friables de grano medio, limolitas y lutitas, delgadas capas de margas y arcillas.

Por último en la zona norte encontramos la Formación Las Pailas de edad Plioceno Tardío – Pleistoceno, descrita primeramente por HUMBOLDT (1801) dentro del Grupo Cabo Blanco. Se compone de areniscas no fosilíferas de origen marino y conglomerados, son BERMÚDEZ & FUENMAYOR (1962) quienes agregan la presencia de capas de carbón con fragmentos de hojas y troncos además señalan la existencia de granos de polen, en la base se intercalan lodolitas, limolita y areniscas finas con areniscas gruesas y conglomeráticas.

Hacia al sur del Lago de Valencia se presenta también en forma de franja alargada de este a oeste la Serranía del Interior donde afloran los terrenos de Tinaco, Cachinche, Tucutunemo, Paracotos, Loma de Hierro, Villa de Cura y San Sebastián (Ver figura 4). Para el caso de los Terrenos Tinaco contienen diversas unidades donde se exponen peridotitas, gneises, esquistos, plutones félsicos con metamorfismo de grado medio e incluso coberturas sedimentarias con edades entre el pérmico y el cretácico tardío según URBANI (2013).

El denominado Terreno Cachinche de edad Paleozoico se extiende desde el Valle de Tinaquillo hasta Taguayguay, se compone de la Unidad Complejo Cachinche siendo URBANI (2015) quien la separa del Terreno Tinaco. De composición metasedimentaria donde predomina la asociación metamórfica de biotita-granate y cianita.

El Terreno Tucutunemo muestra únicamente la unidad Filita de Tucutunemo de edad Pérmico, es separada de los Terreno El Tinaco por MEDERO (2015) y URBANI

(2015), es definida por SHAGAM (1960) como filitas carbonáceas arenosas con pasos a metaarenisca y limolita cuarzo feldespáticas.

La Filita de Paracotos representa el Terreno Paracotos, es introducida por SMITH (1952), su edad va del Cretácico Tardío – Maastrichtiense. Compuesta por una asociación de filita, mármol, metaconglomerado, metalimolita y metaarenisca donde la filita es la litología más abundante.

El Terreno Loma de Hierro se presenta con la unidad del Complejo Ofiolítico Loma de Hierro, de edad cretácica. SMITH (1952), MACLACHLAN *et al.* (1960) Y GRATEROL (1967) son los primeros en cartografía y definir las rocas ultramáficas de esta unidad. Es GRATEROL (1972) quien indica su composición como peridotita serpentizada, troctolita y gabro asociado a basalto.

Para el caso del Terreno Villa de Cura se presenta con la unidad volcanosedimentaria Villa de Cura, introducido por AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937). Compuesto de rocas metavolcánicas y metasedimentarias de granulometría variable. OSTOS (1990) le asigna por radiometría edad desde el Jurásico-Cretácico.

La unidad Lavas de Tiramuto de edad cretácico temprano es la expresión de los Terrenos San Sebastián, es MENÉNDEZ (1965) quien las introduce y describe como un conjunto de metatobas líticas básicas, metatobas vítricas y lavas básicas, en conjunto con lutitas y limo tobáceo.

Continuando más al sur se exhiben el Olistostromo de Platillón y la Napa Piemontina. La Napa Piemontina muestra las Formaciones Guárico y Mucaria. La Formación Guárico de edad Maastrichtiense Tardío-Paleoceno Temprano, es descrita por PEIRSON *et al.* (1966) como depósitos mayormente de *flysch* alternando areniscas y lutitas delgadas. En algunas facies el *flysch* integra niveles de limolitas turbidíticas y arcillas.

La Formación Mucaria de edad Cretácico Tardío-Maastrichtiense es introducida por RENZ & SHORT (1960), se compone de lutitas silíceas mostrando bandas delgadas de ftanita y capas de microconglomerado carbonáticos.

En el caso del Olistostromo de Platlillos exhibe las formaciones Orupe y Sabana Larga. La Formación Orupe de edad Eoceno Medio-Tardío se compone según

MENÉNDEZ (1965) en la base de areniscas micáceas de grano variable y hacia el tope pasa a mostrar conglomerados intercalados por lutitas y limolitas.

La Formación Sabana Larga de edad Paleoceno-Eoceno es descrita por MENÉNDEZ (1965) como brechas de fragmentos ígneos embebidos en una matriz afanítica.

En la cuenca del Lago de Valencia que divide al estado en norte y sur se ubican los sedimentos recientes.

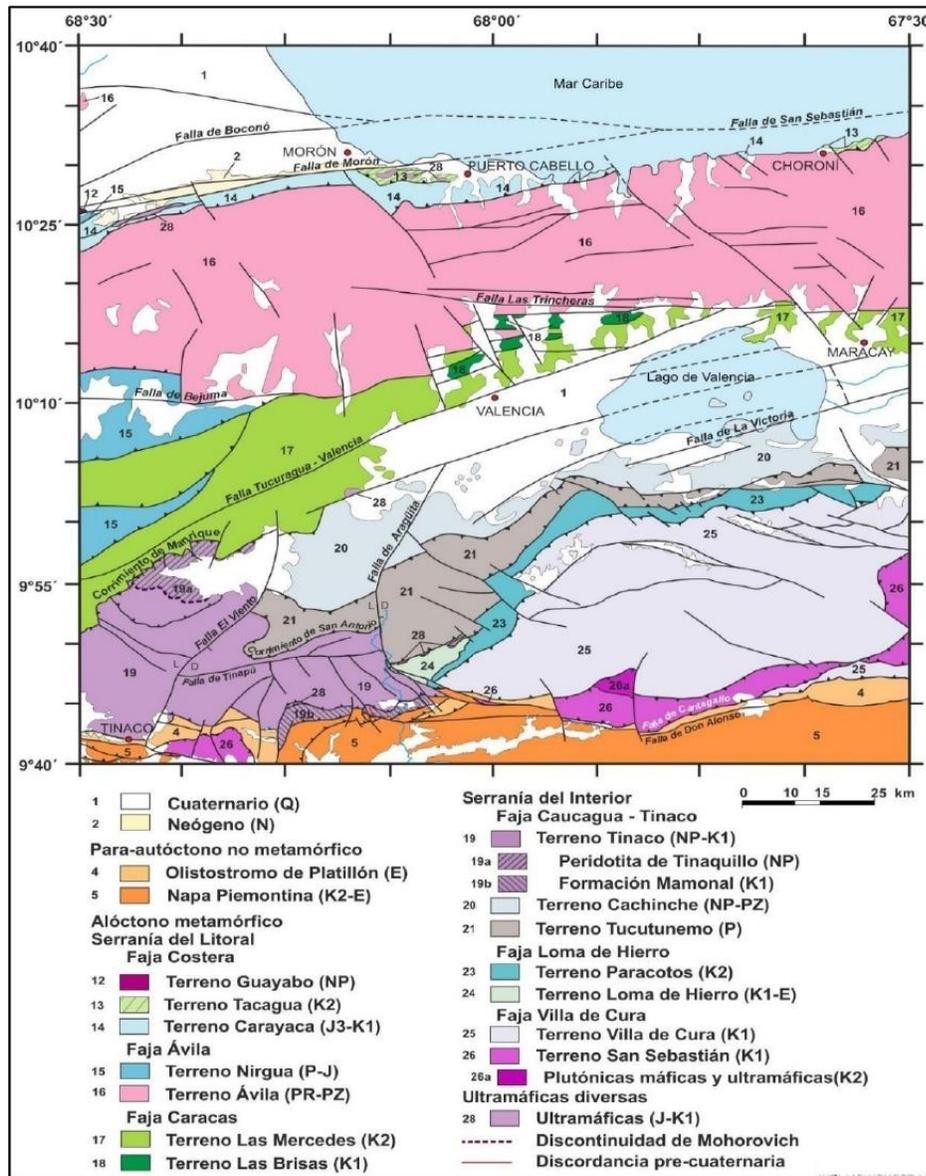


Figura 7. Mapa geológico simplificado de la zona central de la CdIC señalando los diferentes terrenos. Tomado de URBANI (2015) y modificado por YNFANTE (2017)

Tabla 5. Unidades de la CdIC presentes en el área de estudio

Serranía	Faja	Terreno	Unidades
Serranía del Litoral	Costera	El Guayabo	Complejo El Guayabo
		Tacagua	Esquisto de Tacagua
		Carayaca	Complejo Carayaca
	Mármol de Antímano		
	Ávila	Nirgua	Complejo Nirgua
		Ávila	Complejo San Julián
			Gneis de Cabriales
			Metagranito de Guaremal
	Augengneis Peña de Mora		
	Caracas	Las Mercedes	Esquisto de Las Mercedes
Las Brisas		Esquisto Las Brisas	
Serranía del Interior	Caucagua - Tinaco	Tinaco	Diques de Diorita
			Apófisis y diques de Hornblendita
			Apófisis de Gabro
			Serpentinita de San Antonio
			Esquisto de Tinapú
			Formación Mamonal
			Metavolcanosedimentarias de Las Placitas
			Peridotita de Tinaquillo
			Metatrondhjemita de la Gloria
			Cachinche
	Tucutunemo	Filita de Tucutunemo	
	Loma de Hierro	Paracotos	Filita de Paracotos
		Loma de Hierro	Complejo ofiolítico Loma de Hierro
	Villa de Cura	Villa de Cura	Asociación Meta-Volcanosedimentaria Villa de Cura
San Sebastián		Lavas de Tiramuto	

Tabla 6. Unidades pertenecientes a la faja piemontina presentes en el área de estudio

Faja	Napa	Unidades
Piemontina	Piemontina	Formación Guárico
		Formación Mucaria
	Olistostromo de Platillón	Formación Orupe
		Formación Sabana Larga

Tabla 7. Unidades sedimentarias no metamorfizadas presentes en el área de estudio

Genética	Formación
Napa de Lara	Matatere II
	Barquisimeto
Cuerpos Autóctono sedimentario	Maporita
	Las Pailas

3.2.3 Geología estructural

El marco estructural de la región de estudio es complejo encontrándose comprometido por corrimientos que sobreponen terrenos entre sí, fallas de alto ángulo y fallas importantes con componente dextral, todo esto ocurre en función a la evolución tectónica del Sistema Montañoso del Caribe (SMC), que a su vez es el resultado del transitar desde el oeste al este de la placa del caribe en contacto con el frente norte de la placa suramericana. Es esa interacción la que ha permitido que unidades geológicas originadas en la placa del caribe sean adosadas en la placa suramericana, permitiendo esto clasificar los dominios en autóctonos, para-autóctono y alóctono como lo sugieren PEIRSON (1965) Y BECK (1977).

El proceso tectónico transpresivo que ocurre entre las placas se inicia en el Paleoceno y con esto comienza el emplazamiento-apilamiento de las fajas y terrenos que conforman tanto a la serranía del Litoral como del Interior, esto a su vez afecto por medio de deformación los terrenos cretácicos y pre-cretácicos durante el Neógeno.

Es durante el Oligoceno cuando los terrenos de Nirgua, Ávila y Caracas siendo arrastrados del oeste al este, se adosan a la faja piemontina y termina con el emplazamiento sobre estos de los terrenos Tinaco y Tucutunemo (ver figura 8). Como lo indica MEDERO (2015) La separación entre Ávila, Nirgua y Caracas con Tinaco-Tucutunemo está dada por el corrimiento de Manrique.

El territorio Venezolano en el Mioceno es afectado por un impulso tectónico con origen en el suroeste que motivan el levantamiento de la Cordillera de los Andes, arrojando como resultado la reactivación de los sistemas de fallas y la aparición de fallas transcurrentes dextrales en la franja norte de Venezuela que afectaron a los terrenos de la CdIC.

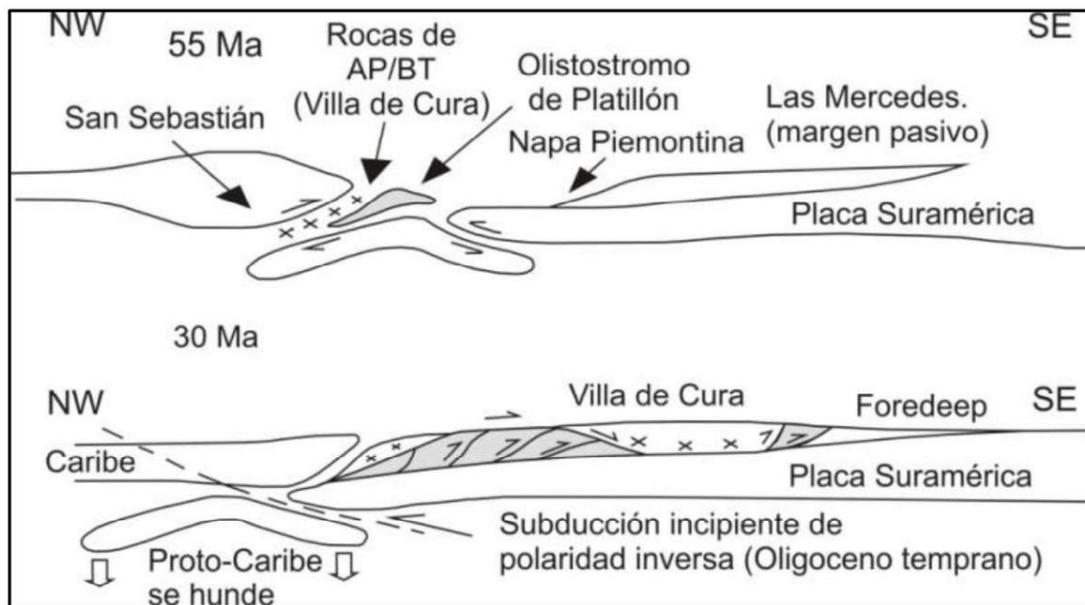


Figura 8. Colisión de la Placa Caribe y Suramericana durante el Eoceno-Oligoceno. Tomado de PINDELL et al. (2005)

Durante el cuaternario (Pleistoceno-Holoceno) se han prolongado los procesos tectónicos que afectan al sistema montañoso costero, motivando el surgimiento de nuevos sistemas de fallas como el de la Victoria que separa a la serranía del Litoral con la del interior por una especie de valle tectónico.

3.2.4 Geología cuaternaria

Este periodo se caracteriza por englobar los cambios ambientales más actuales que han repercutido de manera importante en el modelado de la superficie terrestre. El periodo se divide en 2 épocas conocidas como Holoceno y Pleistoceno; el primero de ellos está asociado al final del último periodo de glaciación que vivió el planeta hace unos 10.000 años, por su parte el Pleistoceno se remonta a unos 2.6 millones de años y este engloba las últimas glaciaciones registradas.

En el caso Venezolano es escaso lo que se conoce de los ambientes cuaternarios, sin embargo los pocos trabajos desarrollados hasta ahora han permitido reconstruir la esencia de estos ambientes en función de asociaciones con investigaciones referenciadas a otros lugares de la Suramérica tropical.

Es importante destacar que la mayor generación de sedimento cuaternario en la región norcentral del país se debe al material producido a lo largo de la cordillera de la costa, la cual es afectada como nos señala GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) por procesos de planación por erosión y aluviación en condiciones áridas y subáridas como consecuencia de la ciclicidad de los periodos glaciares e interglaciares, el material generado es acarreado en masa formando depósitos de ladera, flujos torrenciales y flujos de barro. Los centros de depositación más destacables de material cuaternario (Q) en el estado Carabobo comprenden las siguientes tres áreas:

- Cuenca del Lago de Valencia: Es una depresión morfoestructural rellena por sedimento cuaternario tanto del Pleistoceno como del Holoceno. Estructuralmente es una fosa tectónica limitada al norte y sur por dos pilares tectónicos controlados por una serie de zonas de falla, los pilares son al norte la serranía del litoral y al sur la serranía del interior.

La geología del lago la conocemos gracias a PEETERS (1968, 1970, 1971, 1973) quien demarca el inicio de la depositación en un periodo pluvial del Pleistoceno, a esta depositación la denomino “Lago Valencia I”, esta zona de represamiento sirvió de receptor de los conos aluviales y sedimentos fluviales provenientes de los valles de Aragua; posterior a esto en el mismo Pleistoceno el lago entro en una periodo de desecación denominado “Lago Valencia II” donde el cuerpo de agua se vio reducido, las áreas ahora secas fueron cubiertas por napas de gradación y por conos de deyección de los ríos, esto condujo a un periodo de depositación de material principalmente grueso como peñones, gravas y arenas gruesas; cambiarían posteriormente las condiciones ambientales pasando a un nuevo periodo pluvial donde el cuerpo de agua gano espacio alcanzando los 427m de profundidad, este periodo de sedimentación es conocido como “Lago Valencia III” que datado por estratigrafía relativa inicio su sedimentación hace unos 15.000 años; el periodo de sedimentación actual del lago es denominado “Lago Valencia IV”.

- Valle de Bejuma y Llanura de Tinaquillo: Los procesos climáticos y tectónicos que permiten la acumulación de sedimento no se detienen solo en las grandes

cuencas sedimentarias, durante el cuaternario también se desarrollaron regiones que han sido aluviadas por sedimento fluvio-lacustre como los señalados por GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) quien destaca que durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno se formaron pequeños valles y lagunas, donde ha ocurrido una destacable acumulación de material cuaternario, el señala en el estado Carabobo al Valle de Bejuma y la Llanura de Tinaquillo entre los estados Carabobo y Cojedes como lugares donde hoy día destaca un importante registro cuaternario que ha permitido el desarrollo favorable de la agricultura.

- Flanco norte de la cordillera de la costa: En esta área afloran las formaciones Maporita y en menor medida la Formación Las Pailas ambas datadas Plioceno-Pleistoceno. GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) señala que el carácter morfológico local y las facies presentes indican un ambiente de abanico aluvial de origen morfoclimático como ocurre en otras zonas próximas a la cordillera de la costa. En la zona el material predominante es de conglomerados y gravas heterogéneas mal consolidadas.

CAPÍTULO 4

GEOLOGÍA DEL ESTADO CARABOBO

4.1 Generalidades

El estado Carabobo está conformado por una serie de unidades litológicas sedimentarias, ígneas y metamórficas que se desarrollaron entre el Precámbrico y el Holoceno. Para el caso de la geología presente en los estados que conforman la cordillera de la costa se ha llegado a un consenso académico para clasificar los elementos litológicos en terrenos y napas separados estructuralmente por sistemas de corrimientos.

Para este trabajo se logró compilar en un mismo sistema de información geográfica S.I.G los datos que han generado una serie de autores en lo que se conoce como la cartografía Geológica del Atlas de la Cordillera de la Costa; esta labor de compilación permitió redefinir las nomenclaturas presentes según las últimas actualizaciones que se han generado para el ya mencionado Atlas, de esta manera la base geológica presente en este trabajo es la más actualizada al momento de su elaboración.

Sumado a esto en este capítulo se presentan las áreas que despiertan el mayor interés en el estado Carabobo por la presencia de minerales de arcilla que pueden ser objeto de caracterización, el cual es el principal objetivo de este trabajo de investigación; también se muestran los criterios empleados para definir cuáles son estas áreas con potenciales depósitos de arcilla. Además, se identifican y referencian en el marco geográfico y en las áreas objeto de interés los distintos estudios de difracción de rayos X que se han tenido en cuenta para la caracterización.

En el marco de la caracterización del material arcilloso, se procede a mostrar los resultados de los diversos estudios de difracción de rayos X realizados o recopilados, más la fuente y naturaleza de los mismos con la intención de exponer la mineralogía de arcilla identificada a lo largo y ancho del estado Carabobo.

4.2 Cartografía

4.2.1 Compilación Cartográfica

Gracias a la compilación e integración cartográfica realizada se reeditaron 71 mapas en escala 1:25.000 que forman parte del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa; en función de estos y fungiendo como mapa de compilación se generaron 6 nuevos mapas geológicos a escala 1:100.000 que coinciden con la numeración empleada por el I.G.V.S.B. (ver figura 9). Esto con la finalidad de ubicar los depósitos y sitios de interés, objeto de este trabajo.

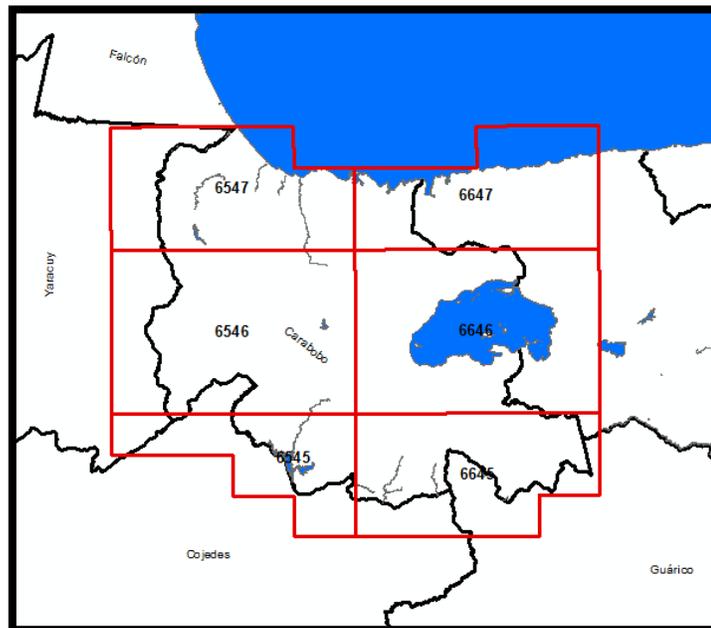


Figura 9. Distribución de los mapas 1:100.000 desarrollados

Para el desarrollo de la base geológica utilizada se recopilieron los trabajos elaborados por DÍAZ (2014), NÚÑEZ (2015), YNFANTE (2017) y MAMBIE (2017), todos enmarcados dentro del Atlas Geológico de la Codillera de la Costa que ha desarrollado el Departamento de Geología de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la U.C.V. De estos trabajos en calidad de S.I.G se tomaron las capas litológicas, estructurales y se procedió a unificar todos en un mismo proyecto con igualdad de simbología, para las capas base se emplearon capas publicas disponibles como las del I.N.E en el caso de la Toponimia.

Esta compilación permitió redefinir algunas nomenclaturas presentes en el área de estudio, las cuales han sido renovadas por otros autores en los últimos trabajos geológicos que se han desarrollado dentro del atlas ya mencionado en zonas aledañas; estos cambios en la nomenclatura serán expuestos en este apartado (ver tabla 8) y además se mostrarán los elementos litológicos constituyentes del área de estudio (ver tablas 9, 10, 11, 12). Los mapas pueden ser consultados en los anexos del trabajo. Es de destacar que con la intención de divulgar la información desarrollada por la Escuela de Geología, Minas y Geofísica tanto en los trabajos enmarcados en el Atlas de Arcillas y en el Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa se desarrolló una aplicación web donde de manera interactiva se pueda consultar la geología del estado Carabobo y estados vecinos.

Tabla 8. Modificaciones de las Nomenclaturas presentes en los resultados de este trabajo respecto a las mismas áreas del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa

Nomenclatura Antigua	Fuente Antigua	Nomenclatura Nueva	Fuente de la Nueva Nomenclatura
K2Elp	Núñez (2015)	K2p	Mambie (2017)
K1vccm	Díaz (2014)	k1vcec	Sánchez (2019)
K3k4lc	Díaz (2014)	K2lc*	Sánchez (2019)
E2e4gv	Díaz (2014)	K6e1g*	Núñez (2015)

*No forman parte de las cartas geológicas pero si del S.I.G desarrollado

La modificación efectuada en la nomenclatura para este trabajo tiene como base el criterio de innovación y unificación, con la intención de que la información cartográfica que se presenta y los elementos litológicos que engloban al Atlas de Arcilla de Venezuela muestren la referencia más actual existente; esto con el propósito de mantener unicidad de criterios en el S.I.G y las Cartas Geológicas que se desarrollen a partir de este.

Seguidamente se presentan en forma de tabla, las unidades litológicas presentes en los elementos cartográficos desarrollados con su respectiva nomenclatura.

Tabla 9. Nomenclaturas presentes pertenecientes a las unidades de la CdIC

Serranía	Faja	Terreno	Unidad	Nomenclatura
Serranía del litoral	Costera	El Guayabo	Complejo El Guayabo	NPeg
		Tacagua	Esquisto de Tacagua	K2t
		Carayaca	Complejo Carayaca (Esquisto y gneis)	JK1ce
			Complejo Carayaca (Eclogitas y anfibolitas)	JK1cea
			Mármol de Antúmano	JK1a
			Complejo Carayaca (S.S.)	JK1c
	Ávila	Nirgua	Complejo Nirgua	PJn
		Ávila	Gneis de Cabriales (Gneis de grano fino)	εcf
			Gneis granítico de Choroni	Och
			Gneis de Cabriales (s. s.)	εc
			Augengneis de Peña de Mora	PPMPpm
			Complejo San Julián (Augenesquisto)	NPPZsja
			Metagranito de Guaremal Metagranito no foliado	ε3gh
			Metagranito de Guaremal s.s.	ε3g
			Gneis de Cabriales (Metagabro)	εcg
			Complejo San Julián (Mármol)	NPPZsjm
			Gneis de Cabriales (Gneis de grano medio)	εcm
			Complejo San Julián (Gneis)	NPPZsjb
			Complejo San Julián (Cuarcita esquistosa)	NPPZsjc
			Gneis de Cabriales (Gneis Sillimanítico)	εcs
			Complejo San Julián (S.S)	NPPZsj
			Complejo San Julián (Gneis y esquisto feldespático)	NPPZsjf
	Gneis de Cabriales Augengneis	εca		
	Caracas	Las Mercedes	Esquisto de Las Mercedes s.s.	K2m
			Esquisto de Las Mercedes Mármol	K2mm
			Mármol de Los Colorados	K2mlc
			Esquisto de Las Mercedes Esquisto carbonático	K2mc
Las Brisas		Esquisto de Las Brisas Filita	J3K1bf	
		Esquisto de Las Brisas s.s.	J3K1b	
	Metaconglomerado La Mariposa	J3K1bm		
Serranía del Interior	Caucagua-Tinaco	Tinaco	Formación Mamonal. Sedimentarias sin diferenciar	K1ms
			Formación Mamonal. Volcánicas de Los Pilacones	K1mv

Tabla 9. Nomenclaturas presentes pertenecientes a las unidades de la CdIC

Serranía	Faja	Terreno	Unidad	Nomenclatura			
			Complejo El Tinaco, Gneis	NPetg			
			Apófisis de Gabro	JKg			
			Peridotita de Tinaquillo	tqa			
			Formación Mamonal. Unidad basal	K1mb			
			Trondhjemitita de La Gloria	NPlg			
			Metavolcanosedimentarias de Las Placitas	Jlp			
			Gneis de La Aguadita (s.s.)	NPla			
			Apófisis de Hornblendita	JKh			
			Gneis de La Aguadita - Zona de inyección	NPlay			
			Complejo El Tinaco, sin diferenciar	NPet			
			Complejo El Tinaco, Esquisto cianítico	NPetc			
			Esquisto de Tinapú	PZti			
			Cachinche			Complejo Cachinche Gneis hornbléndico feldespático	NPPZchg
						Complejo Cachinche (Sensu stricto)	PZch
	Complejo Cachinche (Gneis hornbléndico)	Pzchg					
	Complejo Cachinche (S.S.)	NPPZch					
	Tucutunemo		Tucutunemo	Pt			
	Tácata		Metadiorita de la Guacamaya	P1g			
	Loma de Hierro			Paracotos	Filita de Paracotos	K2p	
				Loma de Hierro	Serpentinita de Las Peñas Negras	JKsppn	
					Formación Boca de Oro s.s.	K2bo	
					Formación Boca de Oro Zona de cizalla	K2boz	
			Complejo El Ocumo	KE1o			
	Villa de Cura		Villa de Cura	Metalava de El Carmen	K1vcec		
				Granofel de Santa Isabel	K1vcsi		
				Metatoba de el Chino	K1vccc		
			San Sebastián	Gabro hornbléndico	K2g		
				Metavolcánicas de Las Hermanas	K1lh		
			Gabro de Cantagallo	K2cg			
	Ultramáficas			Serpentinita	JK1sp		

Tabla 10. Nomenclaturas presentes pertenecientes a la faja piemontina

Faja	Napa	Unidades	Nomenclatura
Piemontina	Piemontina	Formación Mucaria	k4k6m
		Formación Mucaria (Sin Diferenciar)	k5e1mu
	Olistostromo de Platillón	Formación Los Cajones	e1e4lc
		Formación Garrapata, Miembro La Vigía	e4gv
		Formación Garrapata Serpentina	JKsp
		Formación Garrapata S.S.	e4e5g

Tabla 11. Nomenclaturas presentes correspondientes a las unidades sedimentarias no metamorfizadas

Genética	Formación	Nomenclatura
Napa de Lara	Formación Matatere II	e3e4m2
	Buenos Aires-Formación Barquisimeto I	K2bq
Autóctono sedimentario	Maporita	N2m
	Las Pailas	Q1p

Tabla 12. Nomenclaturas empleadas para los sedimentos neógenos poco consolidados

Unidad	Nomenclatura
Terraza	Q1B10
Valle aluvial - fluvial	Qal-f
Rampas y abanicos de explayación	Qtr
Aluvión	Q2a

4.2.2 Áreas caracterizadas

Las áreas de mayor interés de caracterización se enmarcan en las cuencas sedimentarias cuaternarias que son definidas por autores como GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) y en las localidades donde afloran formaciones sedimentarias que al ser evaluadas en la bibliografía describen niveles superficiales de arcillas; a su vez se consultaron diferentes estudios sedimentológicos y geotécnicos elaborados en el estado Carabobo para conocer la presencia del posible material de arcilla que haya sido identificado en los mismos.

De esta manera se identificaron 4 zonas de mayor interés en acumulación de material sedimentario, las mismas han sido delimitadas con asistencia de modelos digitales de elevación D.E.M (ver figura 10).

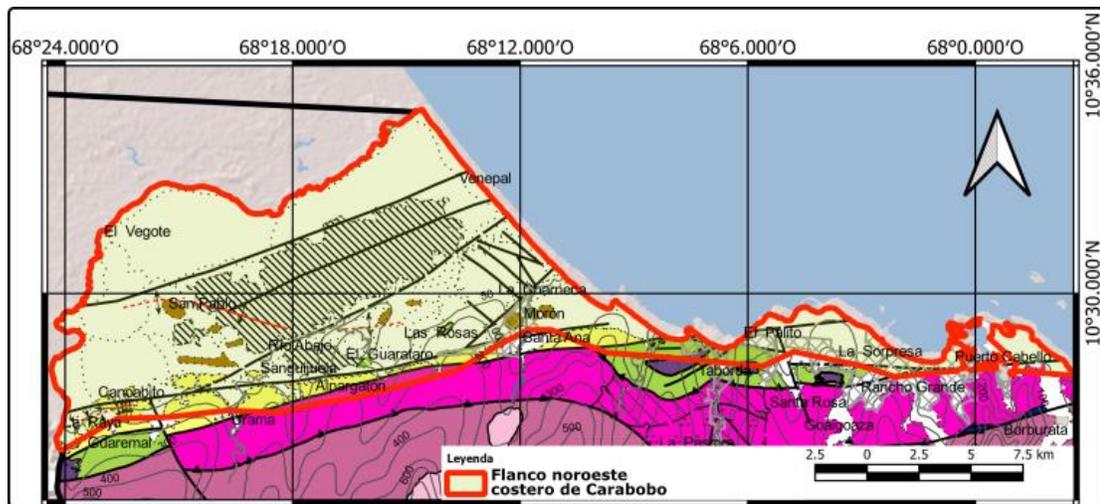


Figura 11. Área de influencia del Flanco noroeste costero de Carabobo

- Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste):** Se ubica referencialmente en el centro del estado prolongándose hacia el este con el vecino estado Aragua donde se encuentra el tramo este de la misma cuenca (ver figura 12). Sobre esta cuenca se halla la capital del estado, la ciudad de Valencia; además en esta área se encuentra el lago más relevante de la región central del país denominado como Lago Tacarigua el cual se caracteriza por ser una cuenca endorreica. El material litológico presente es netamente cuaternario y es descrito en los trabajos de PEETERS (1968, 1970, 1971, 1973). *Grosso modo* se conoce que es el centro de acumulación de los sedimentos provenientes de los valles de Aragua y Carabobo; en este lago se ha depositado, en forma de conos de deyección, el material sedimentario acarreado por los ríos intramontanos ubicados a lo largo del flanco sur de la serranía del litoral y del flanco norte de la serranía del interior.

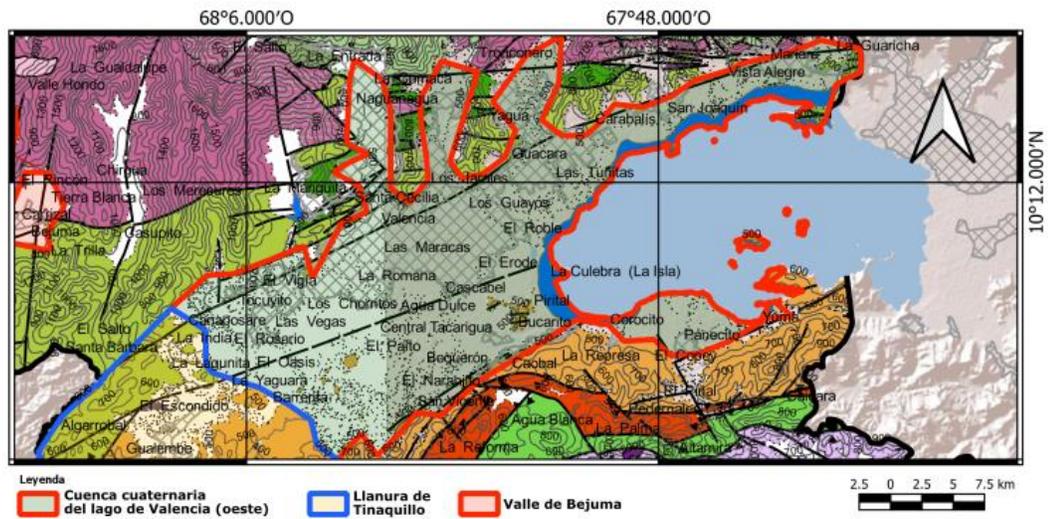


Figura 12. Área de influencia de la Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

- **Valle de Bejuma:** Identificada por GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) como una zona de acumulación cuaternaria de sedimentos fluvio-lacustre, es un pequeño valle donde se ubican las localidades de Bejuma, Montalbán y Miranda (ver figura 13). Destaca por ser un área agrícola relevante en el estado Carabobo; los cuerpos litológicos circundantes al material cuaternario fluvio-lacustre son el Complejo San Julián, Complejo Nirgua y el Esquisto de Las Mercedes.

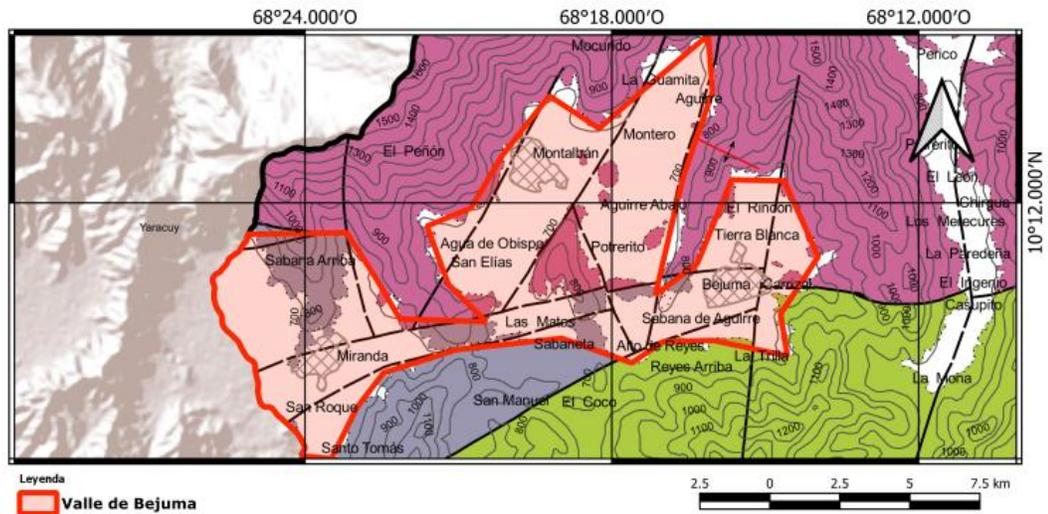


Figura 13. Área de influencia del Valle de Bejuma

- Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste):** Señalada como una cuenca cuaternaria menor por GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) se puede delimitar desde Tinaquillo en el estado Cojedes hasta la localidad fronteriza de Campo Carabobo en el estado Carabobo (ver figura 14); por el crecimiento exponencial que ha sufrido el área metropolitana de Valencia y Tocuyito algunas zonas de estas localidades descansan sobre esta llanura. El material cuaternario presente en esta área es identificado como fluvio-lacustre por GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), en el área delimitada también se puede identificar litología perteneciente al Complejo El Tinaco y Esquisto de Las Mercedes. En este caso la llanura de Tinaquillo identificada en el trabajo es la prolongación noreste de la misma.

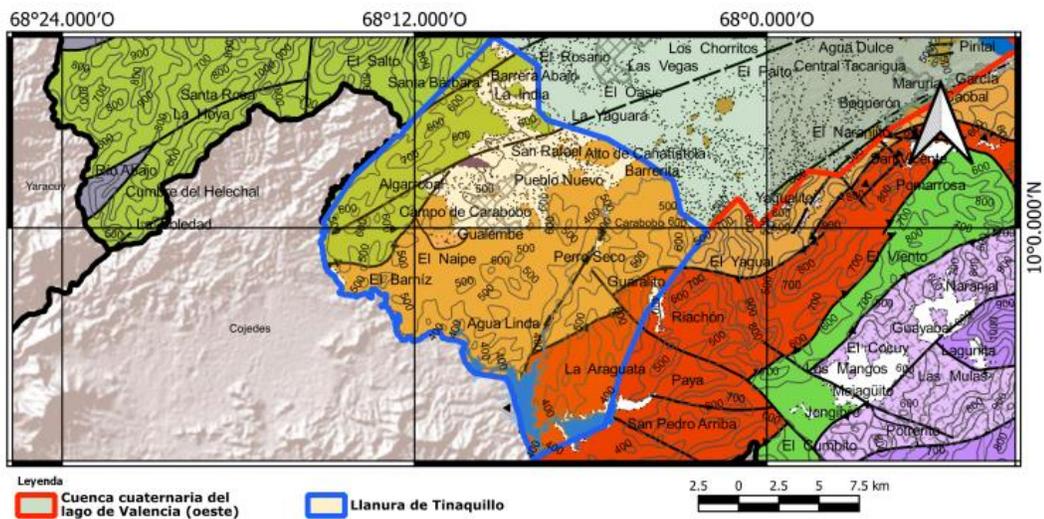


Figura 14. Área de influencia de la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)

4.2.3 Ubicación de Muestras

Para este trabajo se alcanzaron a compilar estudios en 22 localidades donde se han elaborado ensayos de rayos X sobre muestras de arcillas, con estos 22 emplazamientos se lograron reunir análisis en todas las cuencas identificadas previamente (ver figura 15), siendo el Valle de Bejuma la menos caracterizada y la llanura de Tinaquillo la que más (ver figura 16, 17)

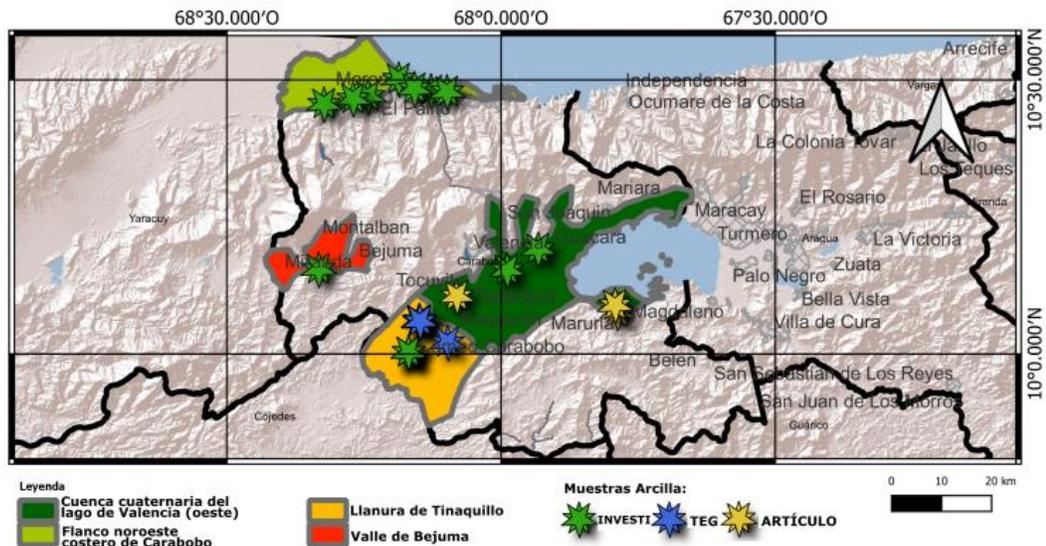


Figura 15. Muestras localizadas según las cuencas evaluadas

La mayoría de los estudios recopilados para el caso del estado Carabobo corresponden a los ensayos elaborados por INVESTI en la década de los años 60, realizados por los geólogos Manuel Rivero y Charles Jefferson; en el caso de estos estudios al no existir sistemas de posicionamiento global disponible en la época, la ubicación de las muestras se elaboraba de manera relativa, para el caso del Atlas de Arcilla la ubicación relativa se identificó con las herramientas disponibles en la aplicación Google© earth, esto permitió obtener el par de coordenadas U.T.M más preciso posible para reflejar la ubicación del estudio en el S.I.G. desarrollado.

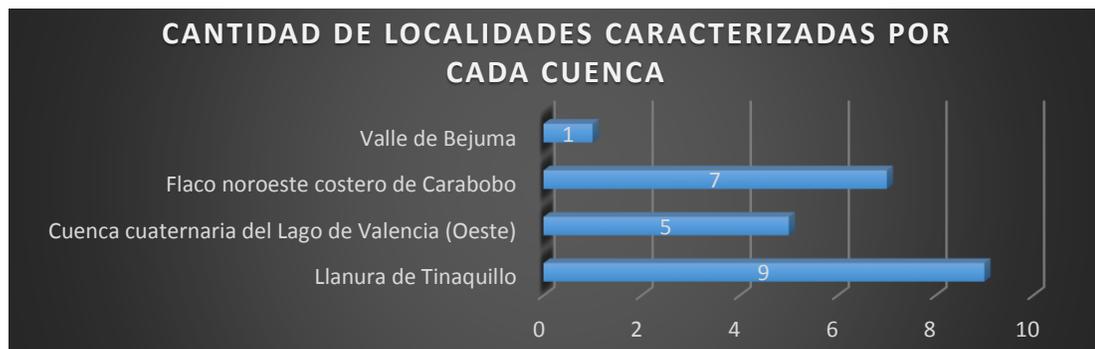


Figura 16. Cantidad de muestras respecto a las cuencas

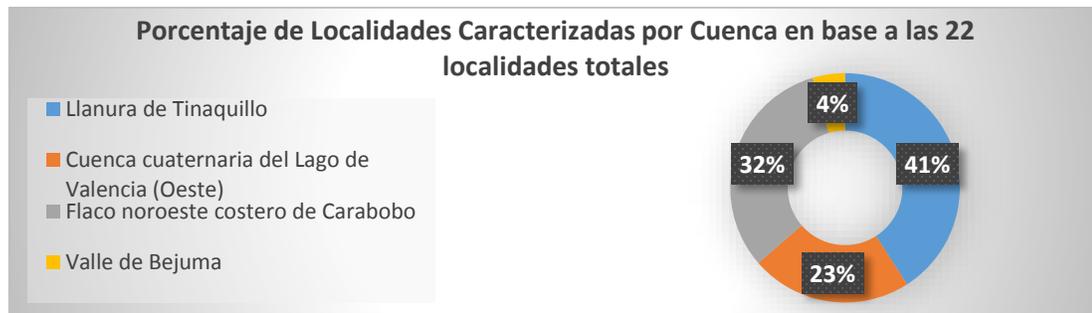


Figura 17. Porcentaje de muestras por cuenca respecto al total

A continuación, se muestra una tabla con los nombres asignados a los diferentes estudios en este trabajo y la ubicación de los mismos respecto a las cuencas señaladas previamente, se destaca en la misma que algunos de estos estudios poseen una ubicación relativa, mientras otros muestran una ubicación precisa realizada por medio de dispositivo GPS (ver tabla 13).

Tabla 13. Identificación de Muestras y ubicación de las mismas en las distintas cuencas

Identificación en el Atlas de Arcillas	Identificación interna del trabajo	Ubicación Relativa	Ubicación GPS	Cuenca	Fuente
AACa1	Muestra 1		X	Llanura de Tinaquillo	CHARRABE (2015)
AACa2	Muestra 2		X	Llanura de Tinaquillo	CHARRABE (2015)
AACa3	Muestra 3		X	Llanura de Tinaquillo	CHARRABE (2015)
AACa4	Muestra 4		X	Llanura de Tinaquillo	CHARRABE (2015)
AACa5	M4-MLS		X	Llanura de Tinaquillo	CONTRERAS (2004)
AACa6	AGCCON1002	X		Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (Oeste)	CAMILLO (2001)
AACa8	AGCSAN LUIS1102	X		Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (Oeste)	CAMILLO (2001)
AACa9	BCPPPIA0409	X		Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (Oeste)	CAMILLO (2001)
AACa10	INV-1	X		Flaco noroeste costero de Carabobo	INVESTI (1962)
AACa11	INV-2	X		Flaco noroeste costero de Carabobo	INVESTI (1962)
AACa12	INV-6	X		Valle de Bejuma	INVESTI (1962)
AACa13	INV-161	X		Flaco noroeste costero de Carabobo	INVESTI (1962)
AACa14	INV-178	X		Flaco noroeste costero de Carabobo	INVESTI (1962)
AACa15	INV-179	X		Flaco noroeste costero de Carabobo	INVESTI (1962)
AACa16	INV-180	X		Flaco noroeste costero de Carabobo	INVESTI (1962)
AACa17	INV-184	X		Flaco noroeste costero de Carabobo	INVESTI (1962)
AACa18	INV-727	X		Llanura de Tinaquillo	INVESTI (1962)
AACa19	INV-1089	X		Llanura de Tinaquillo	INVESTI (1962)
AACa20	INV-1090	X		Llanura de Tinaquillo	INVESTI (1962)
AACa21	INV-1091	X		Llanura de Tinaquillo	INVESTI (1962)
AACa22	INV-A5	X		Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (Oeste)	INVESTI (1962)
AACa23	INV-AlfareriaCarabobo	X		Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (Oeste)	INVESTI (1962)

La identidad asignada a cada muestra en este trabajo hace referencia en las 2 primas letras “AA” a las iniciales del Atlas de Arcilla, seguido de las dos primeras letras del estado Carabobo “Ca”, la numeración es el elemento que diferencia a las distintas muestras. Destacamos que además de los estudios de INVESTI se compilaron 3 estudios pertenecientes al Atlas de Materias Primas (2001) elaborado por el Instituto Universitario Tecnología (Región Capital) Dr. Federico Rivero Palacios y 5 ensayos de 2 autores diferentes encontrados en Trabajos Especiales de Grado elaborados en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la U.C.V por CHARRABE (2015) y CONTRERAS (2004). A continuación, se muestran los distintos ensayos clasificados en cada área de interés evaluada, además se acompañan de una respectiva tabla donde se señalan algunos elementos de la muestra, como el par de coordenadas U.T.M.

4.2.3.1 Muestreo en el flanco noroeste costero de Carabobo

En esta área de interés se lograron compilar 7 estudios que evaluaron muestras de arcilla por medio de difracción de rayos X (ver tabla 14). De estos estudios se evaluaron 4 muestras en el litoral del área, a lo largo de la vía costera desde las localidades del Palito hasta Morón; los 3 ejemplares restantes se localizaron en las cercanías de Morón en dirección oeste hacia las proximidades de la localidad de Urama, en las cercanías del río del mismo nombre (ver figura 18).

Tabla 14. Muestras compiladas en el flanco noroeste costero de Carabobo

Identificación en el Atlas de Arcillas	Identificación interna del trabajo	E	N	FUENTE
AACa10	INV-1	595448.00	1158655.00	INVESTI (1962)
AACa11	INV-2	589003.00	1161034.00	INVESTI (1962)
AACa13	INV-161	592127.00	1159079.00	INVESTI (1962)
AACa14	INV-178	582855.00	1157510.00	INVESTI (1962)
AACa15	INV-179	579900.00	1156986.00	INVESTI (1962)
AACa16	INV-180	574092.00	1155927.00	INVESTI (1962)
AACa17	INV-184	598642.00	1158465.00	INVESTI (1962)

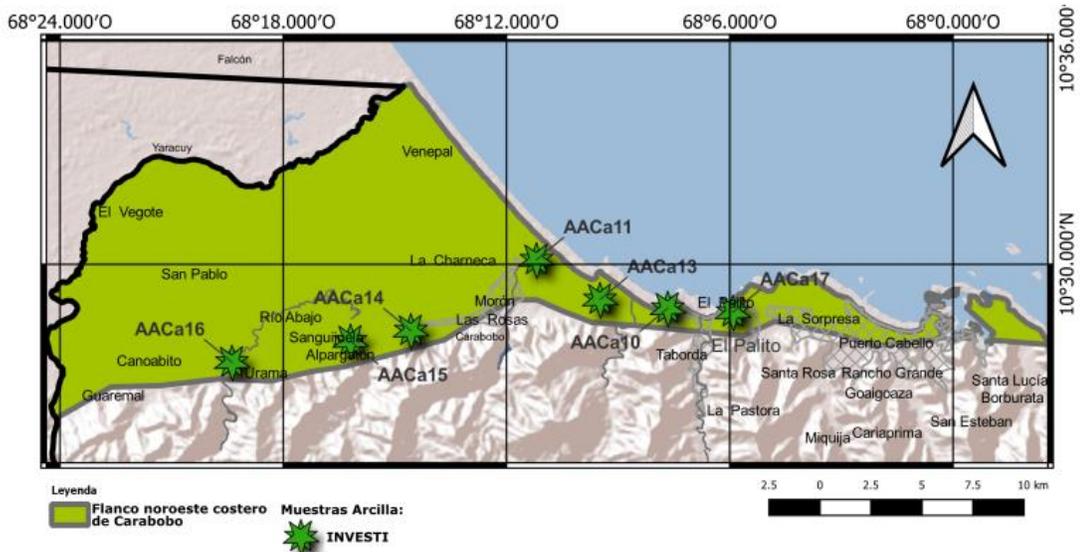


Figura 18. Ubicación referencial de las muestras del flanco norte costero

4.2.3.2 Muestreo en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

En el caso de esta área se reunieron 5 estudios que lograron caracterizar la mineralogía (ver tabla 15). La distribución de estos estudios arroja que 3 de los mismos se encuentran en el tramo centro-este, en los alrededores del área metropolitana de Valencia y bajo la influencia de los sedimentos provenientes de la serranía del litoral; los otros 2 estudios compilados se localizan en las cercanías de la localidad de Guigue, al sur de la cuenca y bajo la influencia de los sedimentos provenientes de la serranía del interior (ver figura 19).

Tabla 15. Muestras compiladas en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

Identificación en el Atlas de Arcillas	Identificación interna del trabajo	E	N	FUENTE
AACa6	AGCON1002	632794.00	1114129.00	CAMILLO (2001)
AACa8	AGCSAN_LUIS1102	632366.00	1115500.00	CAMILLO (2001)
AACa9	BCPPPIA0409	600699.00	1117240.00	CAMILLO (2001)
AACa22	INV-A5	616917.00	1126784.00	INVESTI (1962)
AACa23	INV-Alfarería Carabobo	610740.00	1122537.00	INVESTI (1962)

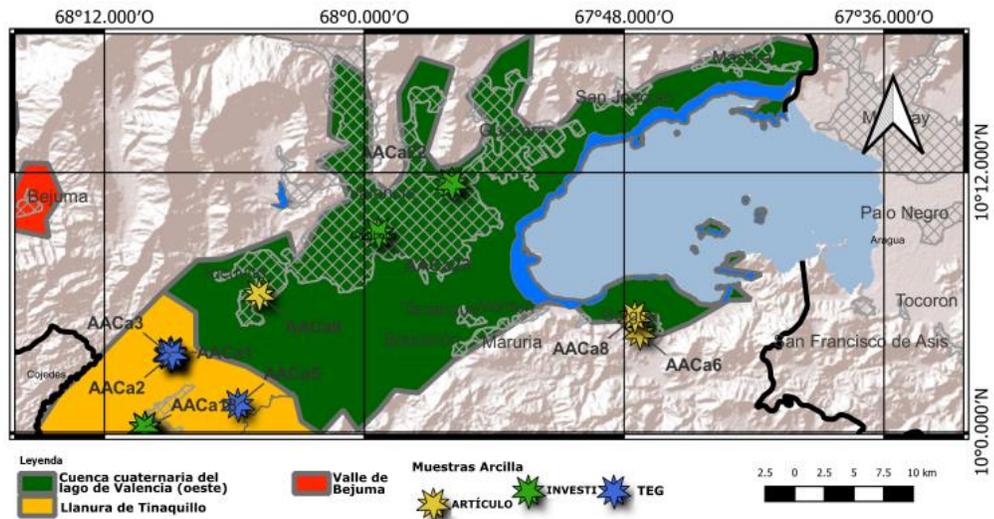


Figura 19. Ubicación referencial de las muestras de la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

4.2.3.3 Muestreo en el Valle de Bejuma

Es el área menos caracterizada llegando a compilarse solo 1 estudio (ver tabla 16). La localización de dicho estudio es en la arteria vial que comunica a la ciudad de Valencia con la población de Nirgua en el estado Yaracuy, referencialmente dicho estudio se ubicó próximo a las poblaciones de Miranda, Montalbán y Bejuma (ver figura 20).

Tabla 16. Muestras compiladas en el Valle de Bejuma

Identificación en el Atlas de Arcillas	Identificación interna del trabajo	E	N	FUENTE
AACa12	INV-6	573077.00	1122629.00	INVESTI (1962)

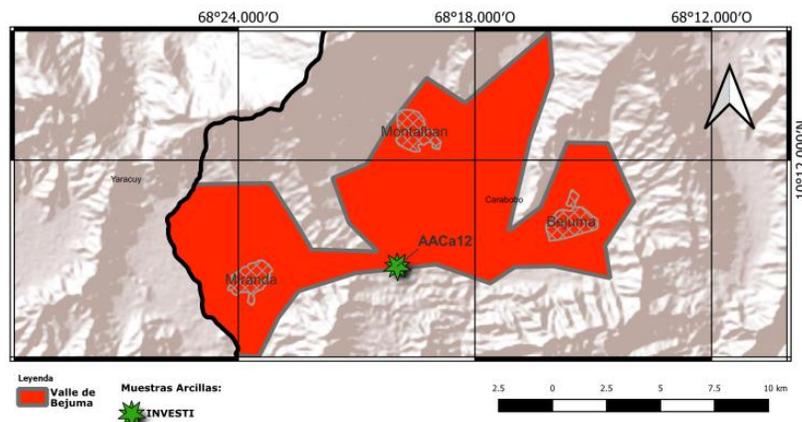


Figura 20. Ubicación referencial de las muestras en el Valle de Bejuma

4.2.3.4 Muestreo en la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)

Es el área más caracterizada, llegando a recopilarse 9 estudios de distintas fuentes (ver tabla 17). De los estudios recogidos 4 se localizan al norte del área, próximos a la localidad de Tocuyito y cercanos al límite con el área delimitada como cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste); otros 4 estudios están ubicados en el centro de esta prolongación de la Llanura de Tinaquillo, en el área próxima al monumento de la Batalla de Carabobo; también se destaca la inclusión de 1 estudio cercano a la población de la Arenosa al noreste del área delimitada y cercano a uno de los ríos tributarios que desembocan en el embalse Cachinche (ver figura 21).

Tabla 17. Muestras compiladas en la Llanura de Tinaquillo

Identificación en el Atlas de Arcillas	Identificación interna del trabajo	E	N	FUENTE
AACa1	Muestra1	593258.00	1112325.00	CHARRABE (2015)
AACa2	Muestra2	593236.00	1112031.00	CHARRABE (2015)
AACa3	Muestra3	593135.00	1112166.00	CHARRABE (2015)
AACa4	Muestra4	593353.00	1112159.00	CHARRABE (2015)
AACa5	MA-MLS	598917.00	1107880.00	CONTRERAS (2004)
AACa18	INV-727	591103.00	1105951.00	INVESTI (1962)
AACa19	INV-1089	591094.00	1105936.00	INVESTI (1962)
AACa20	INV-1090	591084.00	1105920.00	INVESTI (1962)
AACa21	INV-1091	591070.00	1105906.00	INVESTI (1962)

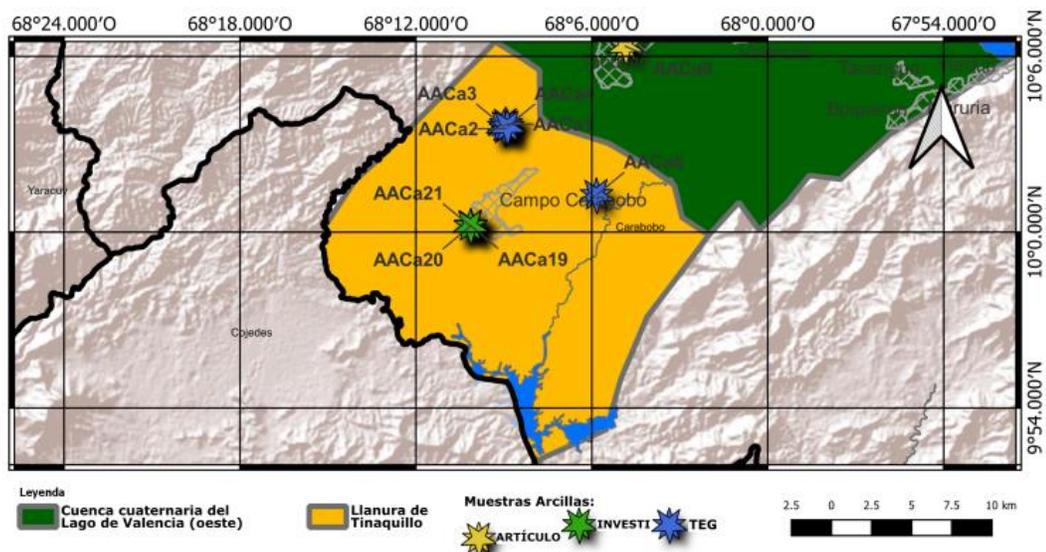


Figura 21. Ubicación referencial de las muestras en la Llanura de Tinaquillo

4.3 Caracterización por medio de DRX

La caracterización objeto de este estudio se fundamenta en la lectura e interpretación de los distintos difractogramas obtenidos, o en su defecto en los resultados emitidos por el autor del estudio recopilado acerca de dichos difractogramas. La clasificación partió de la identificación de los minerales de arcillas y además se incluyó el diagnóstico de minerales comunes como el cuarzo o feldespatos, en pocos ensayos también se diagnosticaron minerales como la goethita o el yeso aunque no son de interés primordial para este estudio.

El diagnóstico mineral se apoyó en la aplicación de la Ley de Bragg, ya que obteniendo el valor del ángulo 2θ de los picos en los respectivos difractogramas, se logra calcular el valor del espacio existente entre los planos (d) del mineral. Con el resultado del espacio interplanar se procedió a comparar con valores estandarizados de minerales, en tablas como las de ICDD antiguo JCPDS; la comparación de estos valores permite determinar el mineral o reducir el diagnóstico del mismo a 2 o 3 especies, esto último puede ocurrir con especies minerales como la vermiculita y montmorillonita, las cuales poseen un espacio interplanar similar, entre los 14-15Å. En los casos que se ameritó la discriminación entre estas especies minerales para un diagnóstico certero, se procedió a analizar los resultados bajo condiciones glicoladas; en estas circunstancias la montmorillonita tiende a aumentar su espacio interplanar (se expande) a valores entre los 17.8-18Å, esto por la formación de una doble capa de moléculas de glicerol en dicho espacio. Por su parte, la vermiculita permanece inalterada; para realizar este ejercicio se tomó como fundamento la publicación de JUSTO & MORILLO (1999). De esta manera se logró realizar una caracterización mineralógica precisa.

Para la obtención de los estudios de DRX se recopiló la información existente en diferentes instituciones nacionales (ver figura 22, 23); posteriormente se procedió a digitalizar la misma por medio de una aplicación escrita en el lenguaje HTML5, desarrollada en el marco del Atlas de Arcillas. Toda la información recopilada está disponible en un tablero de control o *dashboard* en formato Microsoft© *Excel* y en una versión web disponible en la página de ArcGis© *dashboard*, estos tableros por lo tanto

fungen como la base de datos del trabajo elaborado y sirven a su vez como elementos de divulgación.

En este apartado se muestran los minerales identificados por medio de DRX en los diferentes estudios consultados. Los gráficos de difracción están dispuestos en el renglón de anexos. La clasificación de la información se realizara primeramente por cada cuenca o área de interés identificada, posterior a ello, existirá un apartado único por cada especie mineral de arcilla identificada.

2θ	d	h		NL	I	
8.9	9.92	50	Al(OH)	33	17	INV 179 Nat
12.4	7.13	50	Kaol(001)	20	20	
17.9	4.95	42	Al(OH)	30	12	
20.9	4.24	68	Al(OH)	30	38	
24.0	3.75	44	K(OH)	29	15	
26.7	3.36	100+	Al(OH)	29	29	
28.0	3.18	41	Fier	29	12	
31.2	2.88	33	-	27		
35.2	2.57	32	-	26		
36.6	2.45	38	Al(OH)	25	25	
39.5	2.27	25	Al(OH)	24	24	Abundant: 2.00 } very small 2.57
40.4	2.20	31	Al(OH)	23	23	
42.5	2.12	26	Al(OH)	22	22	
45.8	1.97	31	Al(OH)	22	22	
48.1	1.89	28	Al(OH)	21	21	

5km O. de Moron → Barqui
Aluvion Rte
Carabobo

Figura 22. Ficha de la muestra INV-179 Natural

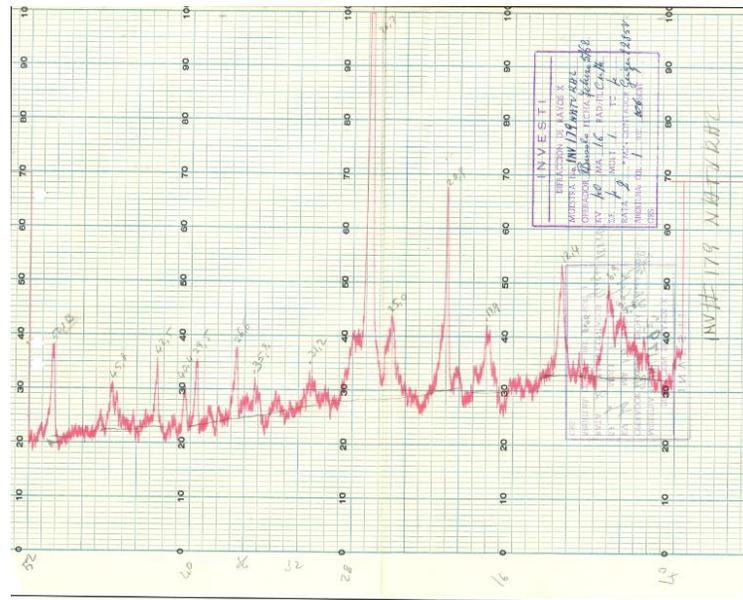


Figura 23. Difractograma de la muestra INV-179 Natural

4.3.1 Caracterización por áreas de interés

4.3.1.1 Caracterización del flanco noroeste costero de Carabobo

A continuación, se muestran los resultados mineralógicos y el tipo de estudio al que fueron sometidas las 7 muestras pertenecientes a esta área. El símbolo (✓) confirma la presencia del mineral o del estudio, mientras que el símbolo (?) señala rastros menores del mineral en cuestión.

- **AACa10**

Tabla 18. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa10

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glicolado	✓						
AACa10							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓		✓			✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa11**

Tabla 19. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa11

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glicolado							
AACa11							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓	✓			✓	✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa13**

Tabla 20. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa13

Tipo de estudio	Existencia								
Natural	✓								
Glicolado	✓								
AACa13									
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Yeso	Goetita
Presencia	?	✓		✓	✓	✓		?	?

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa14**

Tabla 21. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa14

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glicolado							
AACa14							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓				✓	✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa15**

Tabla 22. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa15

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glicolado							
AACa15							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓	✓			✓	✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa16**

Tabla 23. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa16

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glicolado	✓						
AACa16							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓	✓		✓	✓	✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa17**

Tabla 24. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa17

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glicolado	✓						
AACa17							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓	✓		✓		✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

4.3.1.2 Caracterización de la Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia

(oeste)

Se recopilaron 5 estudios en esta área, seguidamente se muestran los resultados mineralógicos y las condiciones de dichos estudios. El símbolo (✓) confirma la presencia del mineral o del estudio, mientras que el símbolo (?) señala rastros menores del mineral en cuestión.

- **AACa6**

Tabla 25. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa6

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa6								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	✓	✓			✓			✓

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa8**

Tabla 26. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa8

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa8								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	✓				✓			✓

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa9**

Tabla 27. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa9

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa9								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	?				✓	✓		✓

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa22**

Tabla 28. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa22

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glycolado							
<2 Micra	✓						
AACa22							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia					✓	✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa23**

Tabla 29. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa23

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glycolado							
<2 Micra	✓						
AACa23							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia		✓	✓		✓		

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

4.3.1.3 Caracterización del Valle de Bejuma

Siendo el área menos caracterizada solo se obtuvo 1 estudio donde se expusiera la mineralogía de arcilla presente en el área. El símbolo (✓) confirma la presencia del mineral o del estudio, mientras que el símbolo (?) señala rastros menores del mineral en cuestión.

- **AACa12**

Tabla 30. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa12

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa12								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Serpentina
Presencia		✓					✓	✓

Muestra recogida sobre: Complejo Nirgua con proximidad a Aluvión cuaternario

4.3.1.4 Caracterización de la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)

Con 9 muestras ensayadas es el área con más estudios, a continuación, se exhibe los resultados mineralógicos y condiciones de los ensayos. El símbolo (✓) confirma la presencia del mineral o del estudio, mientras que el símbolo (?) señala rastros menores del mineral en cuestión.

- **AACa1**

Tabla 31. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa1

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa1								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	✓					✓		✓

Muestra recogida sobre: Esquisto de Las Mercedes s.s. y cercano a Aluvión cuaternario

- **AACa2**

Tabla 32. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa2

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa2								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	✓				✓	✓		

Muestra recogida sobre: Esquisto de Las Mercedes s.s. y cercano a Aluvión cuaternario

- **AACa3**

Tabla 33. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa3

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa3								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	✓					✓		✓

Muestra recogida sobre: Esquisto de Las Mercedes s.s. y cercano a Aluvión cuaternario

- **AACa4**

Tabla 34. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa4

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa4								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	✓				✓	✓		

Muestra recogida sobre: Esquisto de Las Mercedes s.s. y cercano a Aluvi3n cuaternario

- **AACa5**

Tabla 35. Resultados mineral3gicos de la Muestra AACa5

Tipo de estudio	Existencia							
Natural	✓							
Glycolado								
AACa5								
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita	Moscovita
Presencia	✓					✓		✓

Muestra recogida sobre: Complejo Cachinche (Sensu stricto)

- **AACa18**

Tabla 36. Resultados mineral3gicos de la Muestra AACa18

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glycolado							
<2 Micra	✓						
AACa18							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓				?	✓	

Muestra recogida sobre: Aluvi3n cuaternario

- **AACa19**

Tabla 37. Resultados mineral3gicos de la Muestra AACa19

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glycolado							
<2 Micra	✓						
AACa19							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓					✓	

Muestra recogida sobre: Aluvi3n cuaternario

- **AACa20**

Tabla 38. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa20

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glycolado							
<2 Micra	✓						
AACa20							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓					✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

- **AACa21**

Tabla 39. Resultados mineralógicos de la Muestra AACa21

Tipo de estudio	Existencia						
Natural	✓						
Glycolado							
<2 Micra	✓						
AACa21							
Minerales	Cuarzo	Feldespato	Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita	Clorita
Presencia	✓				✓	✓	

Muestra recogida sobre: Aluvión cuaternario

4.3.2 Caracterización por especie mineral de arcilla

4.3.2.1 Caracterización de la vermiculita

Esta especie mineral solo se logró diagnosticar en 2 lugares, siendo la segunda especie mineral de arcilla menos identificada. Se localizó en una oportunidad en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia y otra en el flanco noroeste costero de Carabobo (ver tabla 40).

Tabla 40. Ubicaciones donde se identificó Vermiculita

Muestra	E	N	Cuenca/Área
AACa10	595448.00	1158655.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa23	610740.00	1122537.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

De igual manera en el mapa se muestran dichos lugares de diagnóstico para esta especie mineral (ver figura 24), en el mismo también se pueden observar los elementos litológicos que interactúan en el lugar donde se recogió la muestra, siendo el mismo cuaternario en ambas localizaciones.

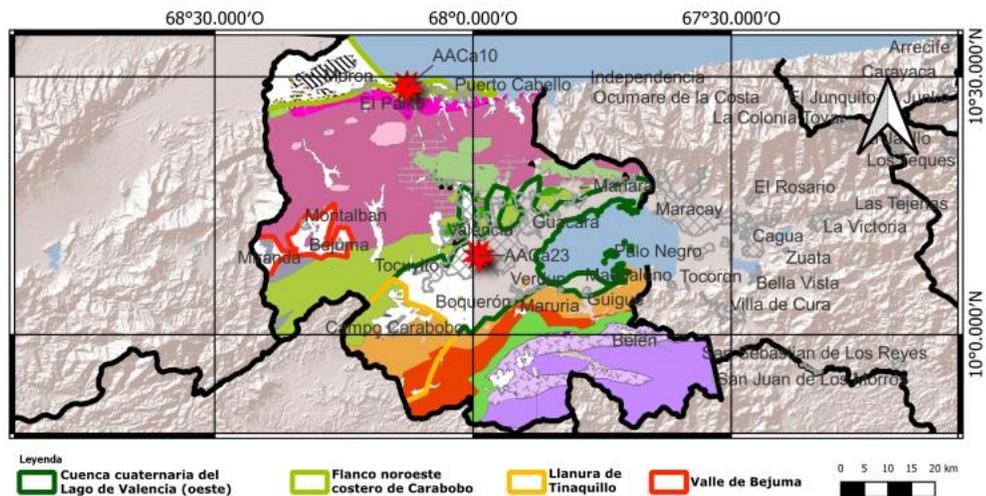


Figura 24. Mapa de muestras con presencia de Vermiculita

El siguiente par de difractogramas corresponde a la muestra AACa10, en los mismo se logra identificar el pico de primer orden de la vermiculita en condiciones de muestra natural y glicolada. Los valores del pico están entorno a los 6.1° en el eje 2θ , lo que corresponde a un espacio interplanar de $14,5\text{\AA}$ aproximadamente. Se puede observar como en condiciones glicoladas el pico se mantiene inalterado, lo que

diferencia a la muestra mineral de vermiculita de la especie mineral montmorillonita (ver figura 25).

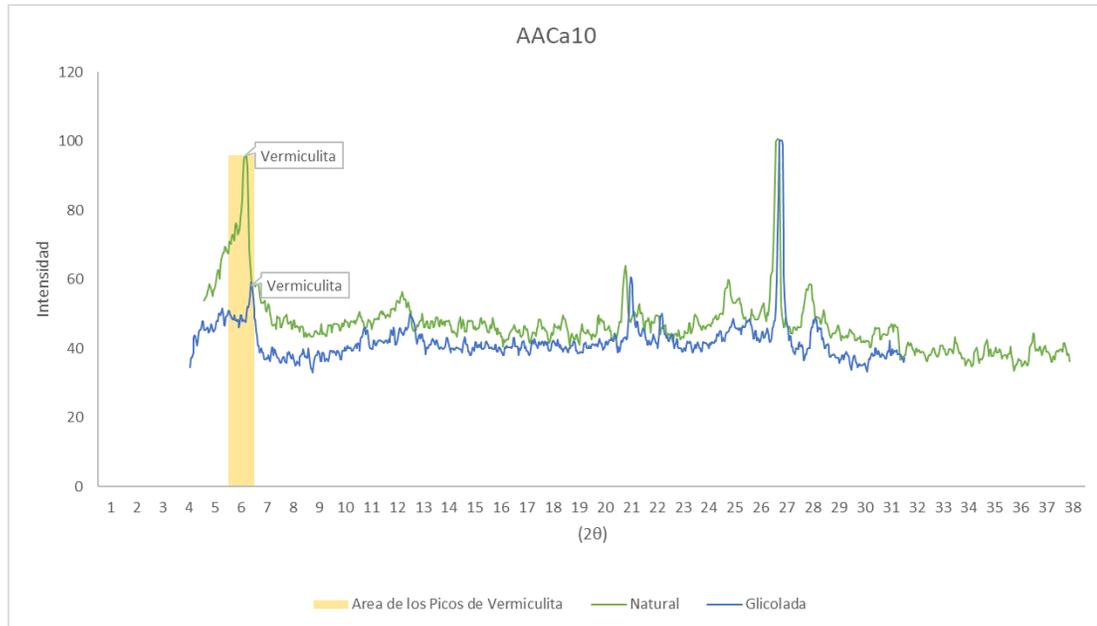


Figura 25. Difractograma de la Muestra AACa10

4.3.2.2 Caracterización de la Montmorillonita

Esta especie mineral se logró identificar únicamente en el flanco noroeste costero de Carabobo, por lo que se diagnostica ausente en el resto del estado (ver tabla 41).

Tabla 41. Ubicaciones donde se identificó Montmorillonita

Muestra	E	N	Cuenca/Área
AACa13	592127.00	1159079.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa16	574092.00	1155927.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa17	598642.00	1158465.00	Flanco noroeste costero de Carabobo

En el mapa se puede observar la presencia de las muestras identificadas con montmorillonita, de estas se logró diagnosticar el mineral dos veces a lo largo del litoral, mientras una sola vez se logró identificar el mineral en el área interior del flanco noroeste costero de Carabobo, cercano a la localidad de Urama y muy próximo al río del mismo nombre. En estos casos, las muestras descansan sobre material cuaternario próximo a la Formación Maporita y al Esquisto de Tacagua. (Ver figura 26).

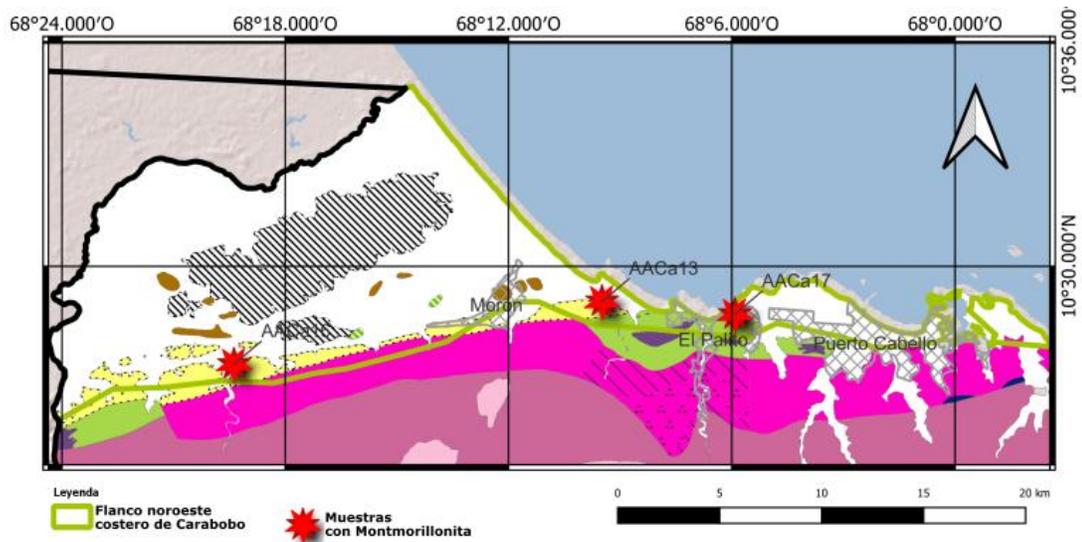


Figura 26. Mapa de muestras con presencia de Montmorillonita

El difractograma de referencia corresponde a la muestra AACa13, en el mismo se puede observar el comportamiento de la muestra tanto en condiciones de ensayo natural y en la condición en que la muestra fue expuesta al glicolado. En la condición glicolada se evidencia como uno de los picos disminuye su ángulo 2θ , pasando de estar en condición natural en $6,3^\circ$ a $5,5^\circ$ en la muestra glicolada. Esto señala que la especie mineral aumento su espacio interplanar bajo la exposición del glicol, pasando de un espacio entre planos de 14\AA a 16\AA ; bajo esta evidencia se puede señalar que en la muestra hay presencia de manera inequívocamente de la especie mineral montmorillonita (ver figura 27).

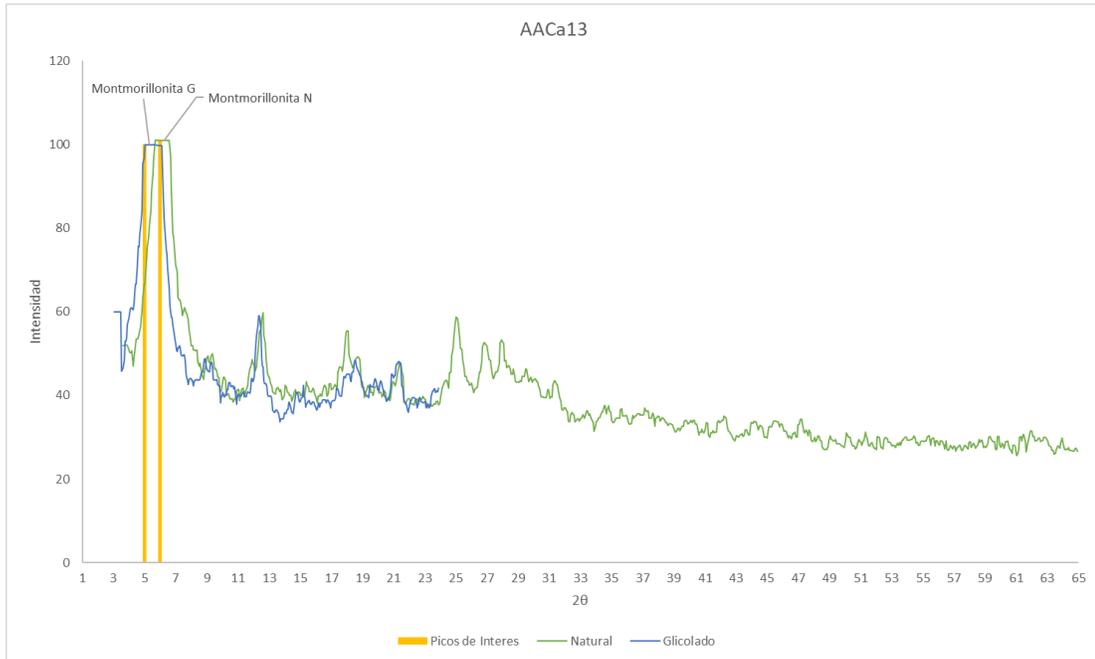


Figura 27. Difractograma de la Muestra AACa13

4.3.2.3 Caracterización de la Illita

La especie mineral de Illita se logró identificar en tres áreas de interés, la misma es la segunda especie con mayor presencia en el estado, identificándose en catorce oportunidades (ver tabla 42).

Tabla 42. Ubicaciones donde se identificó Illita

Muestra	E	N	Cuenca/Área
AACa11	589003.00	1161034.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa13	592127.00	1159079.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa14	582855.00	1157510.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa15	579900.00	1156986.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa16	574092.00	1155927.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa6	632794.00	1114129.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)
AACa8	632366.00	1115500.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)
AACa9	600699.00	1117240.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)
AACa22	616917.00	1126784.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)
AACa23	610740.00	1122537.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)
AACa2	593236.00	1112031.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa4	593353.00	1112159.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa18	591103.00	1105951.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa21	591070.00	1105906.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)

Puede decirse que en tres de las cuatro áreas de interés se ha diagnosticado existencia del mineral de illita, pudiéndose señalar entonces que hay presencia del mineral de norte a sur del estado Carabobo, tanto sobre material cuaternario, como en cercanías de litología metamórfica como las pertenecientes al Complejo El Tinaco o Esquisto de Las Mercedes, esto último es el caso de las muestras sobre la llanura de Tinaquillo. (Ver figura 28).

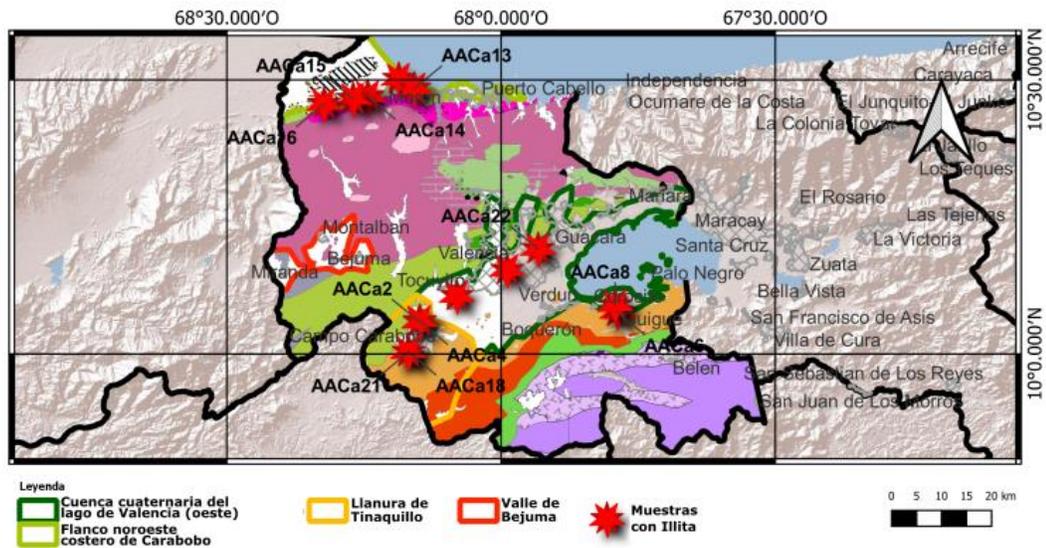


Figura 28. Mapa de muestras con presencia de Montmorillonita

El difractograma corresponde a la muestra AACa11, en el mismo se puede diagnosticar la existencia de illita por la presencia de dos picos distintivos, siendo uno el de primer orden y el otro correspondiente al de segundo orden, ambos se ubican en el eje 2θ a los $8,8^\circ$ y $17,7^\circ$ respectivamente. Estos valores representan un espacio interplanar de 10\AA en hkl (001) y 5\AA en hkl (002) (ver figura 29).

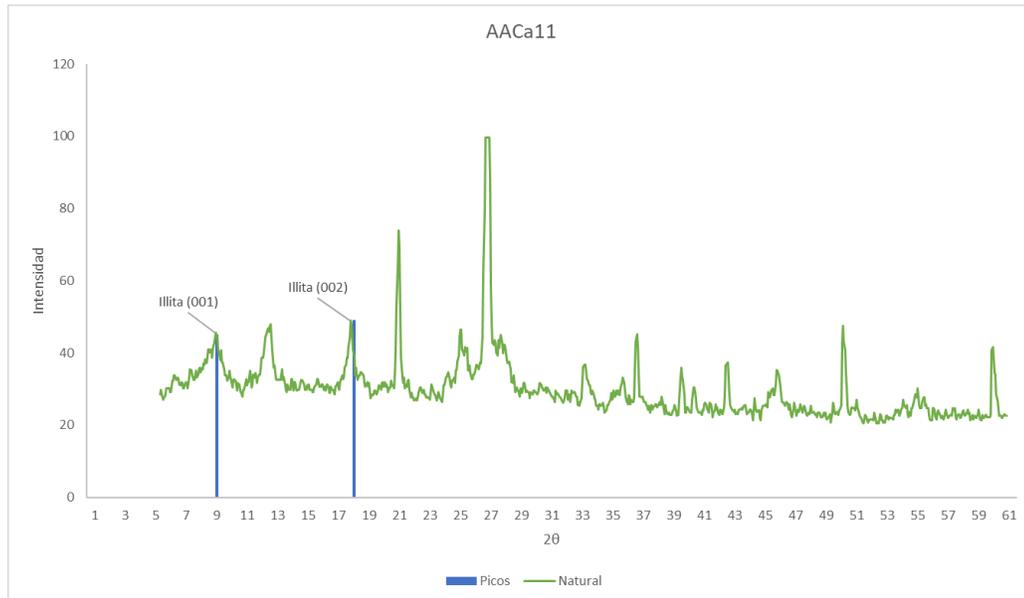


Figura 29. Difractograma de la muestra AACa11

4.3.2.3.1 Relación de Illita o Relación de intensidad de Srodon

Por medio del análisis de difracción de rayos X, SRODON Y EBERL (1984) concluyeron que se pueden determinar 3 tipos diferentes de Illita. Estas son:

- A. Mineral puro de Illita
- B. Mineral mayoritariamente Illita con intercalaciones de esmectita (normalmente montmorillonita), el cual es denominado en el argot académico como I/S.
- C. Una combinación de A Y B.

Para lograr determinar el tipo de illita presente en una muestra es necesario evaluar el comportamiento de los difractogramas en condiciones de muestra natural y muestra glicolada, con la intención de que las capas de esmectita puedan reaccionar con el glicol y modificar el comportamiento de los picos, esto lo determino SRODON (1984) quien alcanza a establecer una relación en el comportamiento de los picos de mayor reflexión de la illita (001) y (003), determinando que al evaluarse la muestra en condición glicolada y contener esmectita en algún grado entre las capas de illita los picos tienden a mostrar un comportamiento diferente al evaluado en muestras con ausencia del mineral de esmectita entre las capas de illita. Para determinar la relación de illita de manera cuantitativa se emplea la ecuación:

$$\text{Relación de Illita: } I_r = [I_{(001)}/I_{(003)}]_{\text{aire}} / [I_{(001)}/I_{(003)}]_{\text{glicolada}}$$

Donde I hace referencia a la intensidad del pico. Si el valor de la ecuación es mayor a 1, la muestra estudiada es considerada como illita con presencia en algún grado de esmectita.

Este análisis suele complicarse en muestras poliminerales, debido a que el pico de reflexión (003) de la illita suele estar solapado con el pico de cuarzo (101) por lo que realizar el estudio por medio de la aplicación de la ecuación se dificulta. Sin embargo EBERL Y SRODON (1984) determinaron una serie de condiciones que pueden evaluarse en un difractograma para determinar la naturaleza de la illita sin recurrir a la ecuación, evaluando el difractograma de la muestra glicolada y observando los siguientes elementos:

- La reflexión 001 se desplaza hacia un ángulo 2θ mayor y la reflexión 003 hacia un ángulo 2θ menor.
- La intensidad de la reflexión 001 decrece en relación a la reflexión 003

Al observar estos elementos es posible señalar que estamos en presencia de una especie de Illita con algún grado presente de esmectita y que el Ir será mayor a 1.

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación del relación de Illita en aquellos estudios donde se elaboró ensayo glicolado e identificó la especie mineral de illita (Ver tabla 43). Evaluación fundamentada en los estudios de SRODON (1984).

Tabla 43. Resultados de la evaluación de la relación de illita

Relación de Illita o Relación de Intensidad de Srodon													
AACa 11	AACa 13	AACa14	AACa 15	AACa 16	AAC a6	AAC a8	AAC a9	AACa 22	AACa 23	AAC a2	AAC a4	AACa 18	AACa 21
Leyenda:		AAC a#	Illita con presencia de esmectita interestratificada o interlaminar (La muestra es tipo I/S)										
		AAC a#	Sin presencia de capas de esmectita o la misma no es relevante (Muestra mineral de Illita pura)										
		AAC a#	No es posible el diagnóstico por ausencia de ensayos glicolados.										

Sin embargo, se muestra la necesidad de conocer en qué porcentaje está presente el mineral de esmectita en una muestra señalada como I/S. Para esto SRODON (1984) realizo un estudio estadístico que permitió establecer una carta que posibilita determinar el porcentaje de esmectita presente en una muestra, en función de graficar la posición 2θ de los picos (002) vs (003). En la siguiente imagen se muestra la ubicación de los picos de illita (002) vs (003) en los estudios que han sido diagnosticados como illita con presencia de esmectita, esto se elabora sobre la carta de referencia desarrollada por SRODON (1984) con la intención de establecer el porcentaje de esmectita presente en las muestras señaladas como I/S (Ver figura 30).

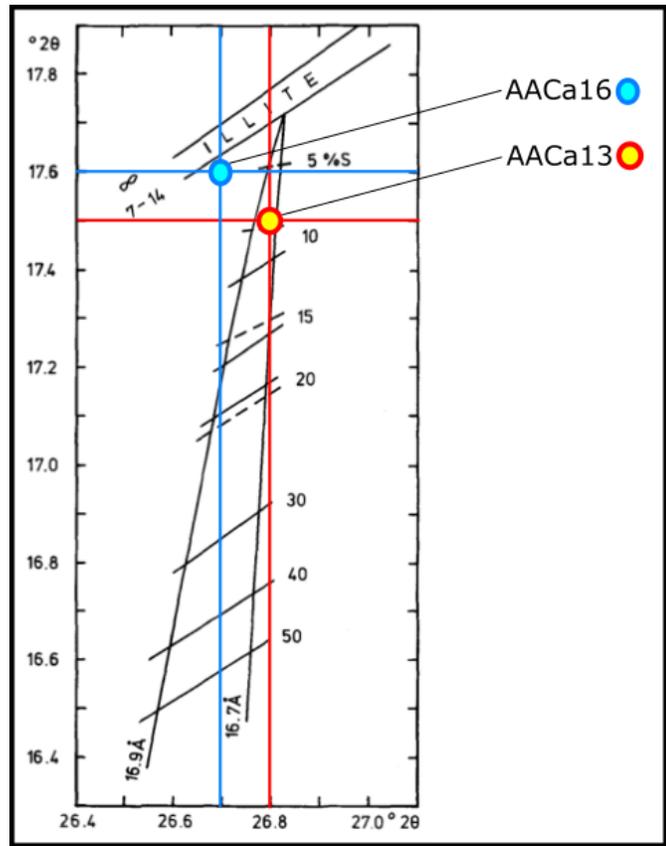


Figura 30. Posición de los picos (002) vs (003) sobre la carta de Srdon (1984) para conocer el porcentaje de esmectita presente en muestra I/S

De esta forma se muestran las proporciones de esmectita presente en las muestras señaladas. (Ver tabla 44).

Tabla 44. Porcentaje de esmectita presente en las muestras I/S

Muestra	Porcentaje de Esmectita
AACa13	7%
AACa16	3-4%

Estos resultados no deben interpretarse como el grado de expansión de la illita o de la arcilla estudiada.

4.3.2.4 Caracterización de la Caolinita

La caolinita es el mineral que más veces ha sido diagnosticado, lográndose identificar en dieciocho oportunidades y a lo largo de tres de las cuatro áreas de interés (ver tabla 45).

Tabla 45. Ubicaciones donde se identificó Caolinita

Muestra	E	N	Cuenca/Área
AACa10	595448.00	1158655.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa11	589003.00	1161034.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa13	592127.00	1159079.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa14	582855.00	1157510.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa15	579900.00	1156986.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa16	574092.00	1155927.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa17	598642.00	1158465.00	Flanco noroeste costero de Carabobo
AACa9	600699.00	1117240.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)
AACa22	616917.00	1126784.00	Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)
AACa1	593258.00	1112325.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa2	593236.00	1112031.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa3	593135.00	1112166.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa4	593353.00	1112159.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa5	598917.00	1107880.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa18	591103.00	1105951.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa19	591094.00	1105936.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa20	591084.00	1105920.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)
AACa21	591070.00	1105906.00	Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)

Mostrándose en las tres grandes áreas de interés, la caolinita hace presencia tanto en el área costera como en la zona central e intramontana del estado Carabobo (ver figura 31). Presentándose tanto en muestras tomadas sobre material cuaternario como es el caso de las ubicadas en el flanco noroeste costero y la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia; como en muestras tomadas sobre zonas demarcadas con litología metamórfica, como ocurre con las muestras recogidas en la Llanura de Tinaquillo donde encontramos tanto al Complejo El Tincado como al Esquistos de Las Mercedes. El difractograma perteneciente a la muestra AACa14 es tomado de ejemplo para identificar los dos picos señalados en las muestras analizadas donde se ha identificado la presencia de la especie caolinita. Se puede observar como los picos muestran reflectividad con un ángulo 2θ en $12,4^\circ$ y 25° , señalando esto un espacio interplanar de

7,12Å en hkl (001) y 3,55Å en hkl (002) respectivamente. Estos valores de espacio interplanar coinciden con los estandarizados de la especie mineral caolinita (ver figura 32).

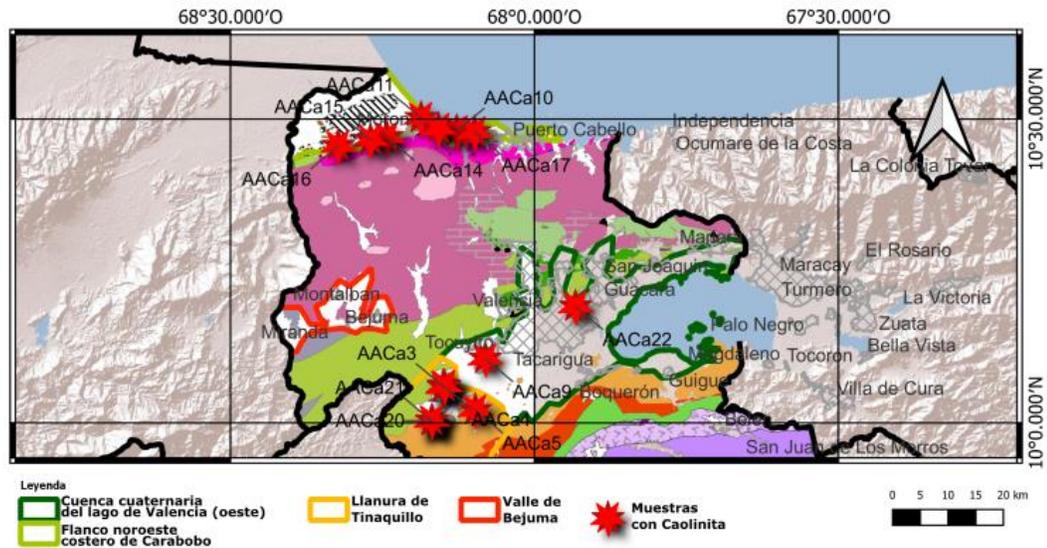


Figura 31. Mapa de muestras con presencia de Caolinita

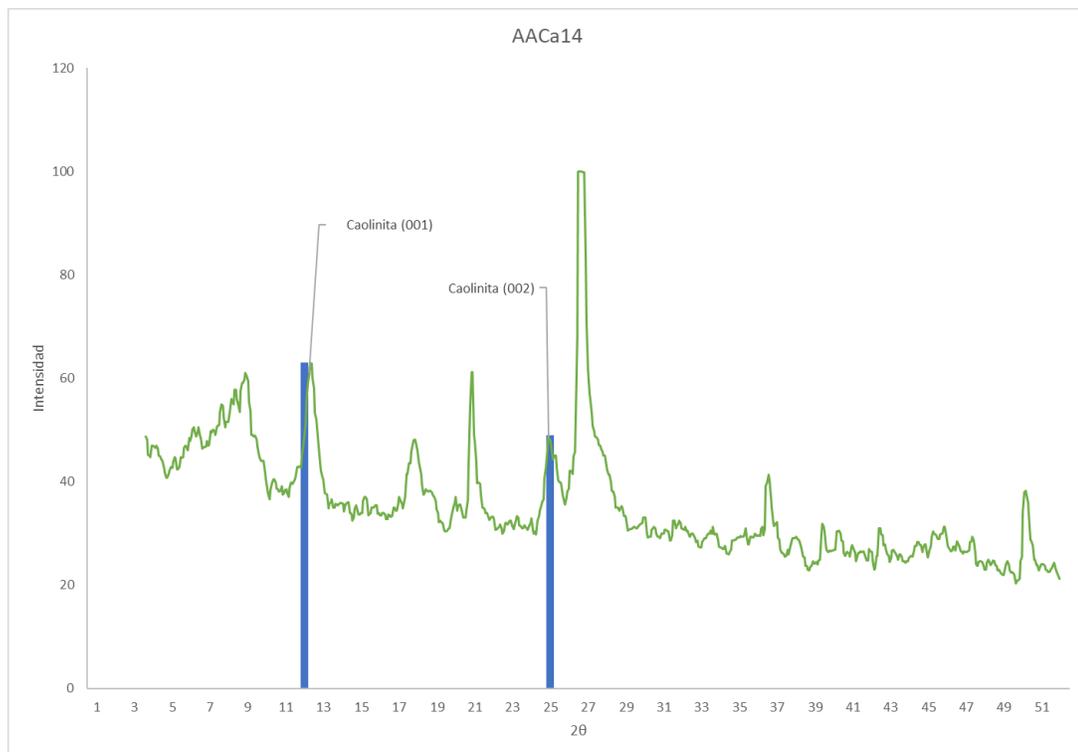


Figura 32. Difractograma de la muestra AACa14

4.3.2.5 Caracterización de la Clorita

Esta especie mineral se logró identificar únicamente en uno de los ensayos evaluados, por lo que este mineral está presente o al menos diagnosticado en una única área de interés (ver tabla 46).

Tabla 46. Ubicaciones donde se identificó Clorita

Muestra	E	N	Cuenca/Área
AACa12	573077.00	1122629.00	Valle de Bejuma

De esta manera en el mapa mostrado se puede observar que la única muestra obtenida del Valle de Bejuma es donde se diagnosticó la presencia de clorita (ver figura 33). La misma se localiza próxima tanto a material identificado como cuaternario como al Complejo Nirgua y al Complejo San Julián.

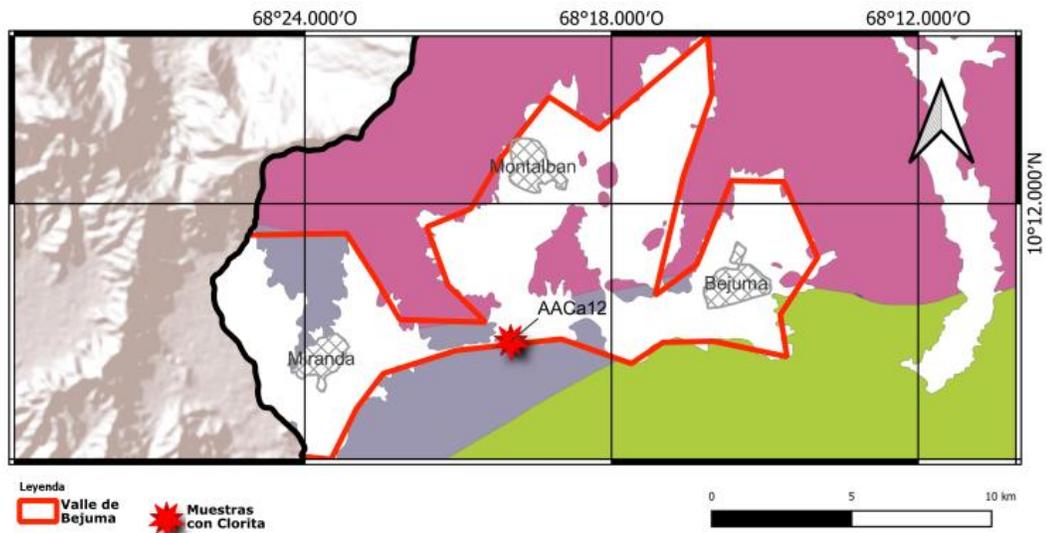


Figura 33. Mapa de muestras con presencia de clorita

En el caso de la muestra AACa12 donde se logró identificar el mineral clorita, no se logró obtener el difractograma para su posterior digitalización, en cambio se obtuvo la ficha del estudio, en la misma el autor señala los picos registrados en el difractograma. En estos picos se logra identificar la existencia de clorita por la presencia de los cuatro primeros picos de reflexión del mineral. Aunque es posible confundir el pico de primer orden de la clorita, con el de la vermiculita y la montmorillonita obligando a recurrir en estos casos a ensayos secundarios, en este caso

particular al obtenerse la coincidencia de manera clara en los 4 picos en hkl (001), (002), (003) y (004) se permite establecer de manera inequívoca sin recurrir a otros estudios, la presencia de clorita. No es menos cierto que lo correcto para mejorar el estudio es recurrir a la realización del ensayo glicolado, esto para descartar la presencia de montmorillonita, por aumento de su espacio interplanar al exponerse al glicol y de un ensayo con muestra cocinada a temperaturas mayores a 300°C, donde la vermiculita y también la montmorillonita colapsan a los 10Å en su primera reflexión, diferenciándose en este ensayo de la clorita que se mantendría con un espaciamiento de 14Å. Es de destacar que las intensidades en los 4 picos registrados muestran el mismo valor (ver tabla 47). En la ficha se señala que la muestra es tomada próxima a un esquisto clorítico.

Tabla 47. Ficha resultado difractograma muestra AACa12

2θ	d(Å)	H(Intensidad)	Mineral Id
6,2	14,24	100+	Clorita (001)
7,8	11,32	50	
10,5	8,42	100+	Serpentina?
11,3	7,82	55	
12,4	7,13	100+	Clorita (002)
14,3	6,19	58	
15,7	5,64	71	
17	5,21	48	
18,7	4,74	100+	Clorita (003)
21,1	4,21	54	Serpentina?
22,6	3,93	44	
23,7	3,75	55	
25,2	3,53	100+	Clorita(004)
27,2	3,27	54	
28,7	3,11	100+	Feldespató?
31,6	2,83	100+	
36,2	2,48	40	

CAPÍTULO 5

INTERPRETACIONES Y DISCUSIONES

5. 1 Generalidades

Las interpretaciones y discusiones que son expuestas a continuación, son el resultado de la integración de la información presentada en el capítulo anterior. Partiendo de los estudios de difracción con su respectiva interpretación y de la base geológica compilada, se buscó entender el origen y características de las diferentes especies minerales de arcillas caracterizadas. Además, el comprender estas características permitió estimar los posibles usos para el material de arcilla, que ha sido identificado en las cuatro áreas de interés señaladas en el estado Carabobo. A su vez, se evaluaron las posibles implicaciones geotécnicas, que están vinculadas a la naturaleza de cada especie mineral de arcilla diagnosticada.

Asimismo, se presentan los elementos no diagnosticados pero que han sido interpretados por diversos autores a lo largo del tiempo en estudios de diferente índole, esto con la intención de contrastar la información expuesta.

La presente interpretación es fundamentada en estudios elaborados por autores de reconocido prestigio, los mismos son citados en todo momento, en función de sentar las bases sólidas de la argumentación planteada.

5.2 Origen de los minerales de arcilla

En muchos casos determinar el origen de algunos minerales de la arcilla ha estado en continuo debate académico y puede variar según los diversos procesos existentes en la naturaleza, es por esto que la información expuesta en este apartado se refiere a un conjunto de conceptos sobre la génesis de las diferentes especies minerales de arcilla, basadas en diversos autores; esto busca establecer un consenso integrador entre las diversas fuentes consultadas, con la intención de plantear el origen de las especies minerales de arcilla caracterizadas en el área de estudio.

5.2.1 Origen de la Vermiculita

A lo largo del proceso erosivo al que se ven expuestas las micas, se da cabida a la formación de nuevas especies minerales, este es el caso de la vermiculita, así lo explica AVGUSTINIK (1983). Por su parte HERNANDO *et al.* (2001) indican que la aparición de la vermiculita no se restringe a un tipo único de suelo y que la misma puede aparecer tanto en zonas polares como tropicales, uno de los elementos que destacan estos autores es que la vermiculita estará presente en aquellos suelos producto de rocas con importante presencia de micas, a su vez, resaltan que en España es común encontrar esta especie mineral en suelos desarrollados a partir de granitos, esquisto, gneis y similares.

Pueden existir dos tipos de vermiculita, las dioctaédricas y las trioctaédricas, en ambos casos con la estructura T:O:T O 2:1 como lo señala GARCÍA & SUAREZ (2003). AVGUSTINIK (1983) afirma que en todos los casos las vermiculitas se forman producto de las cloritas, micas, anfíboles y cenizas; esto también lo reafirma DANA (1960) señalando el origen en la alteración de la mica biotita y agrega que la estructura está constituida por hojas de mica con interposición de moléculas de agua. Por su parte BARTON Y KARATHANASIS (2002) indican que la clorita puede existir en los suelos como mineral primaria y que la exposición al clima puede generar la vermiculita. También, ALVARADO (1985) señala que la vermiculita puede producirse por la remoción de potasio en la illita. Siguiendo en la misma idea, HERNANDO *et al.* (2001) identificaron estudios que sugieren que la biotita cuando se altera en medio ácido

producirá vermiculita por la incorporación parcial de hidroxilos; señalan que esto se ha identificado en experimentos y en estudios del Macizo Central Francés caracterizados por presentar rocas acidas, en este estudio se diagnostican vermiculitas originadas tanto en el material de partida, como en las fracciones finas de los suelos a partir de los minerales presentes en el mismo material.

En función de estos autores su puede establecer que la vermiculita se produce en un medio acido a partir:

1. De la mica flogopita-biotita que es expuestas a alteración hidrotermal o meteórica.



2. De otros minerales de arcilla como la clorita en exposición a agentes meteóricos



3. De illitas expuestas a meteorización donde se origina la remoción del potasio.

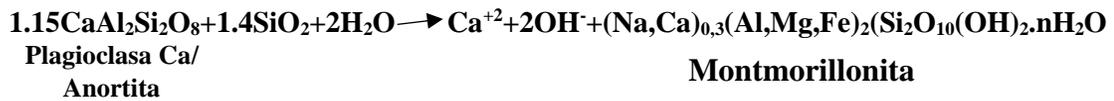


Formula de la vermiculita según IMA: $\text{Mg}_{0.7}(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

5.2.1 Origen de la Montmorillonita

Es la especie mineral más común dentro del grupo de la esmectita, este grupo se caracteriza por presentar características expansivas. Para entender su formación se parte de los conceptos emitidos por KERR (1952) donde se indica que para el desarrollo de la montmorillonita se necesita la meteorización de rocas ricas en calcio en un ambiente tropical. Pero BARTON Y KARATHANASIS (2002) señalan que la montmorillonita también se puede originar de otro mineral de la arcilla, como la clorita al estar expuesta a un ambiente de meteorización. A su vez ALVARADO (1985), muestra que la montmorillonita se puede desarrollar por la continuada pérdida de potasio de la illita, bajo un ambiente de meteorización. ROSS Y HENDRICKS (1945) son más claros en los conceptos, y remiten que la formación de la montmorillonita estará ligada a rocas con importante presencia de feldespatos cálcicos expuestos a

meteorización. En el contexto estudiado hay que remitirse al trabajo planteado por LARA (2014), donde para explicar la presencia de montmorillonita en la cuenca del río Tuy en Venezuela, señala la presencia de rocas ígneas máficas; de esta manera, se recupera la reacción esquemática para la formación de la montmorillonita planteada por dicho autor.



Bajo este conjunto de premisas, se puede establecer que para la formación de la montmorillonita es necesario un ambiente de meteorización con la presencia de minerales aluminosilicatados (moscovita o clorita por ejemplo) con importante presencia de calcio (Plagioclasa) que pueda concentrarse en solución en un medio ácido.

Formula de la montmorillonita según IMA: $(\text{Na,Ca})_{0,33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

5.2.3 Origen de la Illita

También es denominada por algunos autores como “hidrómica” es el caso de AVGUSTINIK (1983), que además señala que la illita se hace presente en la mayoría de las arcillas y muchas veces como el material principal. ALVARADO (1985) indica que la illita es el primer mineral producto de alteración de la moscovita, y es que señala que la illita tendría su génesis a partir de la remoción del potasio de dicha mica.

Son EBERL Y SRODON (1984) quienes profundizan un poco más en el proceso de formación de la illita, señalando que es un mineral producto de la neoformación y transformación en ambientes de meteorización de otros minerales ricos en aluminio y potasio. En este orden de ideas KELLER (1968) describe las condiciones para la formación de la illita, destacando para ella la presencia de iones Ca^{+2} , Mg^{+2} y Fe^{+2} , con potasio en solución en una importante concentración y además manifiesta que esto debe ocurrir en un medio ácido. Basándose en esta argumentación LARA (2014) en su estudio para explicar la génesis de la illita en ambientes tropicales como los de la cuenca del río Tuy en Venezuela, recurre a la hidrólisis como la reacción

desencadenante en la alteración de los feldespato potásico que están presentes en las rocas de esta área; por consiguiente se recupera la reacción esquemática para la formación de la illita planteada en dicho estudio.



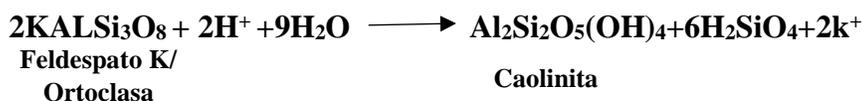
De esta manera se puede establecer que de manera análoga con la montmorillonita, para la formación de la illita se necesita un ambiente de meteorización con la presencia de minerales aluminosilicatados (moscovita por ejemplo), pero en cambio para la illita se recurre a la presencia de potasio (feldespato potásico) que pueda concentrarse en solución en un medio ácido.

Formula de la illita según IMA: $\text{K}_{0.65}\text{Al}_{2.0}[\text{Al}_{0.65}\text{Si}_{3.35}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$

5.2.4 Origen de la Caolinita

El primero es DANA (1960) quien indica que la caolinita es un mineral de origen supergénico, que se desarrolla por la alteración de feldespatos.

Por su parte ALVARADO (1985) señala que la hidrólisis es el proceso de descomposición más importante de las rocas, y es en este proceso donde se originan muchas de las especie de la arcilla, como es el caso de la caolinita, a partir de feldespatos potásicos en climas cálidos y bajo la acción de agua acidificada ; siguiendo este orden de ideas es LARA (2014), manifiesta que la caolinita es también una mineral neoforado por la meteorización de aluminosilicatos y feldespatos potásicos, en su trabajo esquematiza la reacción de la hidrolisis descrita por ALVARADO (1985) en la siguiente reacción:



De esta forma se puede establecer con precisión, que la caolinita es un mineral que se origina a partir de la meteorización de aluminosilicatos y feldespatos, de manera análoga como ocurre con la que la illita.

Formula de la caolinita según IMA: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

5.2.5 Origen de la Clorita

Primeramente DANA (1960), explica que es un grupo de minerales extremadamente difícil de distinguir entre sí; a su vez señala que la clorita es un mineral secundario, el cual resulta de la alteración durante el proceso metamórfico de los minerales aluminosilicatados, cargados en Fe^{+2} y Mg^{+2} , como puede ser el caso de piroxenos, anfíboles, biotita o granate; también precisa que puede encontrarse como material disgregado acompañando a silicatos ferromagnesianos que han sido meteorizados.

Por su parte BARTON Y KARATHANASIS (2002), indican que la clorita puede aparecer como mineral primario en los suelos, pero que la misma se alterará por los agentes meteóricos, dando paso a vermiculitas y esmectitas.

Se entiende por lo tanto, que es el único mineral de arcilla evaluado en el presente trabajo que debe su formación a procesos diferentes a la meteorización.

Formula de la clorita según EHU: $(\text{Mg,Fe,Al,Li,Mn,Ni})_{4-6}(\text{Si,Al,B,Fe})_4\text{O}_{10}(\text{OH,O})_8$

5.3 Planteamientos en función de las áreas de interés

La información es sintetizada en función de cada cuenca sedimentaria o área de interés, las cuales han sido identificadas en el capítulo anterior. En el apartado de cada área o cuenca, se expone el probable origen del mineral, sus posibles aplicaciones y las características geotécnicas que tiende a presentar la especie mineral. Los elementos litológicos señalados como fuente de los minerales de arcilla, son considerados como probables, pero pueden incluirse muchos otros cuerpos próximos que presenten características mineralógicas similares a los ejemplificados.

5.3.1 Flanco noroeste costero de Carabobo

Esta área que forma parte del litoral costero del estado, ha sido caracterizada con la presencia de cuatro especies minerales (ver tabla 48). La totalidad de los ensayos evaluados se fundamentan en muestras recogidas sobre material cuaternario identificado como aluviones recientes.

Tabla 48. Minerales en el flanco noroeste costero de Carabobo

Minerales de arcilla presentes en el flanco noroeste costero de Carabobo			
Vermiculita	Montmorillonita	Illita	Caolinita

Los elementos litológicos presentes en el área, aparte de los aluviones cuaternarios donde se recolectaron las muestras, han sido identificados como: Esquisto de Tacagua, Complejo Carayaca, Formación Matatere II, Formación Las Pailas, Formación Maporita, Formación Barquisimeto I y distintos cuerpos de Serpentina.

A lo largo de esta franja, desde Morón y prolongándose a las costas de Falcón se han presentado diferentes estudios de índole geotécnico, como los de GUEVARA Y LÓPEZ (2012) o RODRIGUEZ (2003); ambos están de acuerdo en señalar, que el área circundante a Morón tiende a presentar material constituido principalmente de conglomerados y gravas mal consolidadas con proporciones menores de arcilla. A su vez, ambos estudios caracterizaron mineralógicamente la continuación del flanco hacia el estado Falcón, diagnosticándose las especies minerales de caolinita, illita, esmectita y una presencia pobre de clorita.

De esta manera se puede establecer correlación entre las especie minerales caracterizadas en el presente estudio, con las identificadas por otros autores en zonas aledañas al área de interés.

5.3.1.1 Origen de la Vermiculita en el flanco noroeste costero

Se entiende que la vermiculita tiende a generarse por dos vías, una directa originada de la meteorización sufrida por el mineral de la solución solida biotita-flogopita; y otra secundaria producto de la continuación de los procesos de meteorización que afecta a las cloritas, anfíboles, cenizas e incluso por la remoción del potasio presente en la illita.

De esta manera se puede aproximar que la vermiculita presente en el área de estudio tiende a originarse de dos maneras, una *in situ* producto de los agentes meteóricos que afectan a las cloritas, anfíboles e illitas; y una secundaria producto del transporte de las vermiculitas generadas a partir de la flogopita-biotita presente en las rocas metamórficas de la cordillera de la costa, el transporte de esta se da por los

distintos afluentes presentes en la cara norte de la serranía del litoral de Carabobo y Falcón. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 49).

Tabla 49. Origen de la Vermiculita en el flanco noroeste costero

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Depósitos Cuaternarios en el área de estudio, formaciones sedimentarias aflorante y cuerpos litológicos como Esquisto de Tacagua, Complejo Carayaca	Cuerpos litológicos presentes en la cara norte de la serranía del litoral como Augeneis de Peña de Mora, Complejo San Julián, Esquisto de Tacagua.

5.3.1.2 Origen de la Montmorillonita en el flanco noroeste costero

Se propone para la montmorillonita presente en esta área de Carabobo, un origen explicado por la meteorización de rocas con importante presencia de minerales máficos que están presentes en la cara norte de la serranía del litoral como pueden ser las rocas meta ígneas máficas diagnosticadas en algunas partes del Complejo San Julián, las metaígneas máficas y ultramáficas presentes en el Augeneis de Peña de Mora o incluso las anfibolitas y eclogitas del Complejo Carayaca. Es decir de manera general hay una presencia más que significativa de material que puede originar el mineral en cuestión, este material generado es transportado por los distintos tributarios que se encuentran a lo largo de esta porción de la cordillera de la costa. También es posible plantear que existan montmorillonitas originadas a partir de otros minerales de arcilla presentes y diagnosticados como la clorita y las illitas. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 50).

Tabla 50. Origen de la Montmorillonita en el flanco noroeste costero

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Depósitos Cuaternarios en el área de estudio, formaciones sedimentarias aflorante y cuerpos litológicos como Esquisto de Tacagua, Complejo Carayaca	Cuerpos litológicos con presencia de rocas máficas, ubicados en la cara norte de la serranía del litoral

5.3.1.3 Origen de la Illita en el flanco noroeste costero

La neoformación de la illita en el área de estudio está ligada a los minerales aluminosilicatados y potásicos presentes en los cuerpos litológicos diagnosticados en el área de estudio o en las zonas próximas, como pueden ser los distintos esquistos presentes en el Complejo Carayaca o al Esquisto de Tacagua.

En esta área se diagnosticó presencia de interestratificados I/S que posiblemente estén relacionadas a depósitos pertenecientes a arcillas que están o han sufrido una diagénesis temprana, es por esto que se establece la hipótesis de que los mismos especímenes estén vinculados a las formaciones sedimentarias presentes en el área, esto según lo planteado por SRODON y EBERL (1984). De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 51).

Tabla 51. Origen de la Illita en el flanco noroeste costero

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Depósitos Cuaternarios en el área de estudio, formaciones sedimentarias aflorante y cuerpos litológicos como Esquisto de Tacagua, Complejo Carayaca	Cuerpos litológicos con presencia de rocas esquistosas, ubicados en la cara norte de la serranía del litoral

5.3.1.4 Origen de la Caolinita en el flanco noroeste costero

Por su parte para la caolinita se plantea su génesis en la meteorización de los feldspatos potásicos presentes en las rocas metasedimentarias del área de estudio y circundantes. La gran cantidad de caolinita presente en esta área y diagnosticada en porcentaje en estudios de áreas adyacentes como los de GUEVARA Y LÓPEZ (2012), posiblemente esté ligada a la importante tasa de precipitación que se presenta en la serranía del litoral y cuyo material suelto por efectos de la meteorización termina depositándose en esta área. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 52).

Tabla 52. Origen de la Caolinita en el flanco noroeste costero

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Depósitos Cuaternarios en el área de estudio, formaciones sedimentarias aflorante y cuerpos litológicos como Esquisto de Tacagua, Complejo Carayaca	Cuerpos litológicos, ubicados en la cara norte de la serranía del litoral

5.3.1.5 Posibles aplicaciones de las arcillas caracterizadas

Entendiendo que los usos industriales de los minerales de la arcilla en el país tienden a instruirse en función de las propiedades físicas que presenta el material sin valorar la mineralogía, en este trabajo se procede a plantear posibles aplicaciones en función de los minerales preponderantes en las fracciones de arcilla:

- Se hace necesario una evaluación más profunda para definir posibles depósitos de arcilla en el área identificables como “arcilla bentonita”, ya que es el área con mayor presencia de montmorillonita en el estado Carabobo, algunos estudios de áreas cercanas como el de RODRIGUEZ (2003) llegan a valorar presencia de hasta un 50% de esmectita en la fracción de arcilla; de esta forma se plantea profundizar los estudios de caracterización y cuantificación, con la intención de determinar si existen depósitos de arcillas en el área que puedan ser catalogados como arcilla bentonita; tal tipo de material de arcilla impura muestra una importantísima proporción de montmorillonita, así lo explica MURRAY (2006). Es de destacar que las arcillas con altos niveles de montmorillonita pueden ser tratadas y purificadas a razón de ser consideradas bentonita, esto lo explica CARRADO *et al.* (2006). Las mayores aplicaciones de la arcilla bentonita como material industrial a nivel mundial son (ver figura 34).

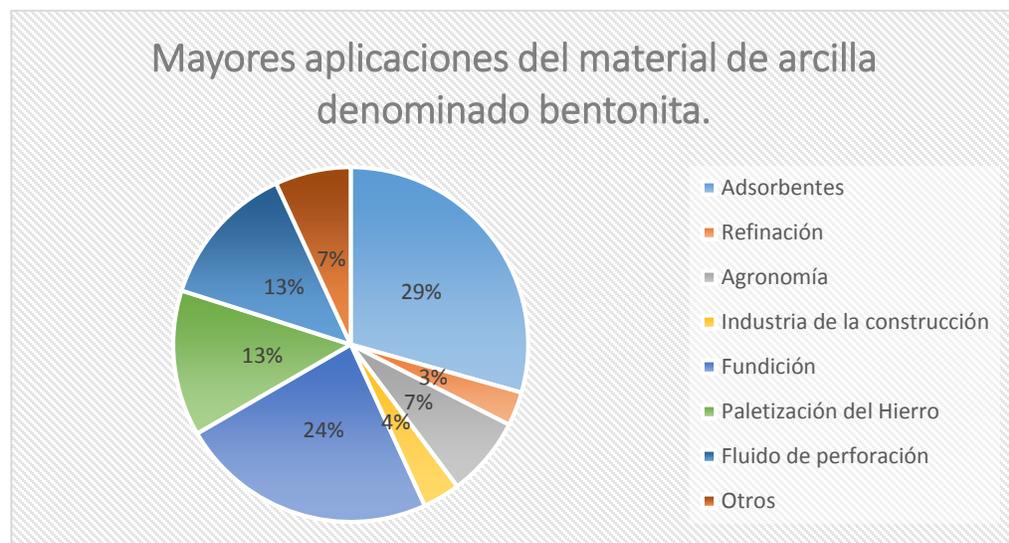


Figura 34. Usos mundiales de la bentonita. Tomado y traducido de HARVEY (2006)

- Se recomienda una evaluación a profundidad del contenido de litio presente en la montmorillonita, a razón de estudiar su posible uso como arcilla de litio similar a como se plantea con las arcillas presentes en el Clayton Valley y en el Kings Valley de Nevada en los Estados Unidos, en México en el estado de Sonora también se han encontrado yacimientos de arcillas con una ley mineral en litio importante. Este interés en el contenido de litio presente en las arcillas, principalmente del grupo de la esmectita, nace a razón de que es uno de los depósitos naturales de litio que pueden ser aprovechados por la industria de las baterías, si la extracción mineral alcanza a ser económicamente rentable. Empresas como TESLA (2021) han presentado técnicas en lo que ellos denominan como “extracción selectiva de litio a partir de minerales de arcilla”, procesos como estos aplicados a la montmorillonita han sido investigados desde 1985 por el Bureau of Mines de los Estados Unidos según LIEN (1985).
- La presencia de montmorillonita en el área plantea su aprovechamiento como especie mineral en estricto sentido, según MURRAY (2006) posee aplicaciones industriales en cosméticos, detergente, fertilizante, aditivo en alimentos, medicina, catalizador, clarificación del agua y muchos otros.
- Valorando la presencia de vermiculita en el área y fundamentándose en los estudios de HARVEY (2006), los usos pueden estar vinculados a la industria de la construcción como aislante acústico y térmico; en la industria del embalaje sus aplicaciones van desde material contra golpes, protección térmica y absorción de fluidos; en la industria de la fundición es utilizado como protección térmica.

5.3.1.6 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas

Si se considera únicamente la naturaleza de las especies minerales caracterizadas, se puede establecer que el área en cuestión presenta minerales expansivos como la montmorillonita, de mediana expansión como la vermiculita y en menor grado los interstratificados de illita (I/S) que presentan pequeñas proporciones de esmectita. Ampliando la fundamentación, se puede extrapolar hasta cierto grado los

estudios de índole geotécnico elaborados en el área por GUEVARA Y LÓPEZ (2012) quienes concluyen que las arcillas presentes en el área colindante a la evaluada, en el vecino estado Falcón presenta zonas de mediana y alta expansión. Es por esto que se recomienda, que cualquier obra realizada en el área contemple la evaluación mineralógica por medio de DRX de la fracción de arcilla dentro de los estudios geotécnicos.

5.3.2 Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

En este estudio se lograron caracterizar tres especies minerales de la arcilla en el lado oeste de la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (Ver tabla 53).

Tabla 53. Minerales en la Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

Minerales de arcilla presentes en la Cuenca cuaternaria del Lago de Valencia		
Vermiculita	Illita	Caolinita

Los ensayos analizados en esta área han sido recogidos sobre sedimento cuaternario enmarcados como aluviones recientes. Litológicamente el área de interés está constituida en su totalidad por sedimento cuaternario como el caracterizado; él mismo está influenciado por el material sedimentario generado de los distintos cuerpos metamórficos que constituyen a la serranía del litoral y a la serranía del interior. Una de las particularidades que se pueden denotar en los ensayos analizados, recae en la ausencia de clorita en los mismos. Autores como RIVERO (1962) señalan que en el área, hay presencia de clorita e illita en iguales proporciones, además para explicar el origen de estos minerales, apunta a los procesos meteóricos que sufren las rocas ígneas y metamórficas presentes en este tramo de la cordillera de la costa. En cambio autores como HERNÁNDEZ (2006) quien caracterizó una porción del lado este de la cuenca, más precisamente al sur de la localidad de Maracay, señala en su estudio la presencia de illita, caolinita y esmectita, sin destacar por lo tanto la existencia de la especie mineral clorita. A continuación se exponen las posibles razones para la ausencia en el diagnóstico del mineral clorita en las muestras caracterizadas:

- Es posible que los picos de clorita en este estudio puedan estar confundidos con los picos de vermiculita, al no poseer ensayos cocinados que permitan calcinar la vermiculita se imposibilita en gran medida el diagnóstico de la clorita.
- Los ensayos analizados hacen referencia a muestras recogidas en sitios con interés de aprovechar el material en la industria alfarera, la cual no necesita esta especie mineral.
- Puede estar ausente en gran medida, debido a los procesos de meteorización que afectan a la cuenca cuaternaria, derivando la clorita de los esquistos circundantes en otras especies minerales de arcilla como la vermiculita.

Entendiendo el contexto geológico del área y valorando estudios de reconocida trayectoria como el ya citado de RIVERO (1962), se puede establecer con seguridad que la especie mineral clorita si está presente de manera parcial en el área de estudio, pero no en las áreas caracterizadas. De esta manera, se propone establecer la presencia de clorita a la periferia de la cuenca y a las zonas aledañas a los tributarios, es decir a aquellas áreas vinculadas de manera directa a las depósitos más actuales producto de la meteorización del material geológico, como bien pueden ser los esquistos presentes tanto en la serranía del litoral como en la serranía del interior; esto es así ya que la clorita que se pudo depositar en las zonas caracterizadas y más internas de la cuenca, durante un periodo geológico pasado, se han visto expuestas a procesos meteóricos que alteraron dicha especie mineral, generándose de la misma nuevas especies minerales de arcilla como la vermiculitas y esmectitas tal como lo establecen BARTON Y KARATHANASIS (2002) . Se recomienda a su vez, consultar el trabajo de igual carácter al presente dedicado al estado Aragua, donde se evalúa el lado este del Lago de Valencia, el mismo es desarrollado por PADRÓN (2021).

5.3.2.1 Origen de la Vermiculita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

Entendiendo el contexto geológico que se presenta en los alrededores de la cuenca del Lago de Valencia se puede plantear dos fuentes para las vermiculitas

presentes en esta área. Una fuente *in situ* producto de los procesos meteóricos que afectan a illitas y cloritas en el material cuaternario, otra fuente por transporte del sedimento originado en las rocas metamórficas con importante presencia de biotita-flogopita que se encuentran en la cara sur de la serranía de la serranía del litoral y norte de la serranía del interior. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 54).

Tabla 54. Origen de la Vermiculita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Aluviones Cuaternarios	Litologías metamórficas de la serranía del litoral e interior como: Esquisto las Mercedes o Complejo Cachinche

5.3.2.2 Origen de la Illita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

Es el mineral que más veces se caracterizó; se puede señalar que su formación está ligada a los cuerpos litológicos con naturaleza esquistosa circundantes al área de estudio, y a la exposición a los agentes meteóricos que pueden sufrir lo minerales de la arcilla presentes en los diferentes aluviones cuaternarios. Es de destacar que la illita se origina a partir de minerales aluminosilicatados y potasio desprendido de los feldspatos K expuestos a condiciones atmosféricas. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 55).

Tabla 55. Origen de la Illita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Aluviones Cuaternarios	Litologías metamórficas de la serranía del litoral e interior como: Esquisto las Mercedes o Complejo Cachinche

5.3.2.3 Origen de la Caolinita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste)

Como en la illita, su origen se liga a la neoformación por medio de la meteorización que sufre el esquisto o rocas similares, con importante presencia de aluminosilicatos y minerales potásicos; en el área circundante a los elementos

cuaternarios delimitados, se encuentran cuerpos litológicos como el Esquisto de las Mercedes o en la Filita de Tucutunemo, los cuales poseen los minerales esenciales para la génesis de la caolinita. Se destaca su presencia posiblemente por la alta tasa de precipitación que tiende a beneficiar el desarrollo de este mineral producto de la meteorización química. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 56).

Tabla 56. Origen de la Caolinita en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Aluviones Cuaternarios	Litologías metamórficas de la serranía del litoral e interior como: Esquisto las Mercedes o Complejo Cachinche

5.3.2.4 Posibles aplicaciones para las arcillas caracterizadas

En esta sección se realiza una valoración de los minerales caracterizados y conocidos en el área, en función de proponer las posibles aplicaciones para los mismos en función de la mineralogía.

- En función de los argumentos de BARRETO Y GODOY (2018) la importante presencia de illita y caolinita permiten establecer que el mejor uso para las arcillas de esta área es el de la alfarería. Se debe reconocer por medio de otros estudios la proporción de óxidos de hierro presentes, en función de establecer si la especie es una arcilla roja.
- Aunque los minerales caracterizados son idóneos para la industria de la cerámica, es necesario evaluar que la presencia de materia orgánica en las arcilla sea bajo, esto según lo indicado por empresas como Cerámicas Carabobo S.A.C.A quienes por no encontrar material con esta característica prescinden de las arcillas del área, prefiriendo emplear las del estado Lara en la conocida hacienda “Villa Rosa”. Se debe establecer por medio de otros estudios la proporción de óxidos de hierro presentes, en función de establecer si la especie es una arcilla blanca.

- Por la presencia de caolinita puede emplearse en industrias como la del papel, caucho y hasta farmacéutica. Por lo que se recomienda evaluar la proporción de caolinita del material arcilloso en los depósitos de interés.

5.3.2.5 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas

En el área se logró identificar arcillas minerales de mediano grado de expansión según su naturaleza cristalográfica, este es el caso de la vermiculita diagnosticada. Aunque en la zona caracterizada no llegaron a identificarse arcillas de alto grado de expansión como las esmectitas, se conoce de estudios geotécnicos consultados que los suelos de Valencia presentan grados medianos de expansión. También debe tomarse en cuenta que la mineralogía y condiciones presentes en la cuenca permiten el desarrollo de minerales de arcilla expansivos, esto se corrobora con estudios de la porción este de la cuenca en el estado Aragua, donde se han diagnosticado esmectitas en hasta un 48% de los minerales contentivos de la fracción de arcilla según HERNÁNDEZ (2006). Es por esto que se recomienda que a la hora de realizar estudios geotécnicos en el área, se valore analizar la mineralogía por medio de DRX en la fracción de arcilla de la muestra.

5.3.3 Valle de Bejuma

Es el área de interés más pequeña; en la misma se ha logrado caracterizar en el sentido tradicional una sola especie mineral de arcilla como lo es la clorita (ver tabla 57). Si se abarcan conceptos más amplios e incluye la clasificación aprobada por la A.I.P.E.A se puede incorporar dentro de las especies minerales de arcillas a algunos miembros del grupo de la serpentina.

Tabla 57. Minerales en el Valle de Bejuma

Minerales de arcilla presentes en el Valle de Bejuma	
Clorita	Serpentina

El único ensayo evaluado de esta área pertenece a una muestra de material disgregado próxima a esquistos cloríticos que se pueden asociar a los esquistos que comprenden el Complejo Nirgua; evaluando la cartografía geológica conocida en el

área, se sabe que el Valle de Nirgua litológicamente se conforma por el Complejo San Julián, el Complejo Nirgua y el Esquisto de Las Mercedes, por su parte en las zonas más deprimidas del valle, se encuentran las acumulaciones de sedimento cuaternario de los distintos aluviones, que se desarrollan a partir de la meteorización de los cuerpos litológicos antes mencionados.

5.3.3.1 Origen de la Clorita en el Valle de Bejuma

Entendiendo el proceso de formación de la clorita, se establece que su origen se asocia a los procesos metamórficos que han sufrido las rocas que constituyen el valle de Nirgua. La presencia de este mineral en carácter de sedimento se puede asociar a la fase de inicio en la formación de otras especies minerales de arcilla, los cuales se originan a partir de este, es por esto que se plantea que en algunas áreas del valle se hagan presentes cantidades menores de vermiculitas y en un menor grado de esmectitas. De esta manera se puede establecer que en el valle de Bejuma el proceso de neoformación de especies minerales de arcillas está en una fase incipiente, en comparación al resto de áreas caracterizadas del estado Carabobo. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 58).

Tabla 58. Origen de la Clorita en el Valle de Bejuma

Tipo de Origen Planteado	In Situ
Litología donde hay presencia de clorita producto de metamorfismo	Formaciones esquistosas: Complejo Nirgua, Complejo San Julián, Esquisto de Las Mercedes.

5.3.3.2 Posibles aplicaciones para las arcillas caracterizadas

En el área se entiende que hay presencia relevante de clorita, en función de esto se plantea las siguientes aplicaciones para esta especie mineral:

- La clorita no posee un uso industrial relevante aunque puede usarse como agregado en construcciones.
- Posible presencia de caolinita: El área caracterizada es próxima al valle de Nirgua, donde existe presencia importante de caolinita según RIVERO (1962), se plantea por lo tanto un reconocimiento del área con la intención de evaluar

depósitos similares a los señalados por este, por medio de una caracterización con DRX. La intención de diagnosticar caolinita en el área es para aprovechar este mineral en industrias como la del papel como revestimiento o relleno; y en industrias como la de la cerámica en porcelana, sanitarios, entre otros; la caolinita también puede ser empleado como diluyente.

5.3.3.3 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas

No se identificó una especie mineral que por naturaleza posea características de expansión importantes. Pero es necesario destacar que los estudios geotécnicos siguen siendo relevantes a la hora de plantear construcciones en el área y se hace necesario que en los mismos se caracterice la mineralogía de arcilla por medio de DRX. Además las arcillas no expansivas como la illita, caolinita o incluso la clorita pueden presentar rasgos de expansión variables que pueden afectar obras civiles, sin dejar de mencionar que cualquier arcilla puede cambiar su naturaleza según las condiciones ambientales a las que se vea afectada.

5.3.4 Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)

Siendo el área con mayor cantidad de muestras evaluadas, se pudieron caracterizar con precisión las especies minerales de Illita y caolinita (ver tabla 59). En la zona en cuestión, se diagnosticó a su vez la mica moscovita que no forma parte de un mineral de arcilla en estricto sentido, pero si es un mineral de partida para la génesis de los mismos.

Tabla 59. Minerales en la Llanura de Tinaquillo (prolongación noreste)

Minerales de arcilla presentes en la Llanura de Tinaquillo	
Illita	Caolinita

El área en cuestión se conforma litológicamente del Esquisto de Las Mercedes, La Peridotita de Tinaquillo, el Complejo Cachinche y en menor medida de otros cuerpos que tienden a influenciar en mayor medida el área perteneciente al estado Cojedes en Tinaquillo como el Gneis de la Aguadita; en la llanura también hay presencia de aluviones cuaternarios. En el área perteneciente al estado Cojedes en los

alrededores de Tinaquillo se han realizado estudios por autores como RODRIGUEZ (1986), el cual establece que en esta área hay presencia de bentonita; se hace necesario señalar que la bentonita no es una especie mineral de arcilla en estricto sentido, es más bien un material de arcilla impuro constituido mayoritariamente por montmorillonita según MURRAY (2006) y HUFF (2016). El origen de esta bentonita es posible asociarla a la presencia de cuerpos litológicos máficos circundantes a los depósitos cuaternarios como los que se extienden en la llanura de Tinaquillo, esto es debido a que la montmorillonita para desarrollarse necesita una alta presencia de plagioclasas cálcica la cual tiende a ser más presente en rocas máficas o incluso ultramáficas como la Peridotita de Tinaquillo; esta asociación es similar a la establecida por LARA (2014) con la montmorillonita presente en la cuenca del río Tuy en Venezuela. En las zonas caracterizadas de la cuenca en el presente estudio que se asocia a la prolongación noreste de la llanura, no se identificaron minerales expansivos como la montmorillonita, esto es posible que este asociado a que esta área de la Llanura está circundada por material litológico menos máficos.

5.3.4.1 Origen de la Illita en la Llanura de Tinaquillo

Se entiende a la illita como un mineral neoformado, el cual para su origen necesita la presencia de aluminosilicatos y soluciones de feldespatos potásicos en un medio ácido para lograr su formación, estas condiciones se encuentran a partir de las rocas metamórficas esquistosas expuestas a meteorización en el área de estudio, como el Esquisto de Las Mercedes o los Esquisto del Complejo Cachinche. Se hace necesario destacar la presencia de la mica moscovita en los sedimentos menores a dos micras, esta mica es asociada por diversos autores como uno de los principales minerales que dan paso a la illita. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 60).

Tabla 60. Origen de la Illita en la Llanura de Tinaquillo

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Aluviones Cuaternarios con alta presencia de minerales micáceos disgregados	Litologías metamórficas esquistosa de la serranía del litoral e interior como: Esquisto las Mercedes o Complejo Cachinche

5.3.4.2 Origen de la Caolinita en la Llanura de Tinaquillo

Las condiciones para la formación de la caolinita en esencia son las mismas que las establecidas para la illita, es decir se necesitan aluminosilicatos y soluciones de feldespato potásico en un medio ácido, se puede establecer también que la caolinita se ve favorecida en su formación por las condiciones de clima cálido que imperan en el área en cuestión y que favorece el proceso supergénico al que se ven expuestos los sedimentos primarios como los disgregados de las micas presentes en los aluviones cuaternarios que caracterizan la zona, sumado a la desilificación producto de la meteorización química. De esta manera se plantea el siguiente cuadro (ver tabla 61).

Tabla 61. Origen de la Caolinita en la Llanura de Tinaquillo

Tipo de Origen Planteado	In Situ	Transporte
Agrupación Litológica donde se presume el origen.	Aluviones Cuaternarios con alta presencia de minerales micáceos disgregados	Litologías metamórficas esquistosa de la serranía del litoral e interior como: Esquisto las Mercedes o Complejo Cachinche

5.3.4.3 Posibles aplicaciones para las arcillas caracterizadas

Valorando la mineralogía de los materiales caracterizados y evaluando las propiedades físicas que han sido demostradas por algún autor como es el caso de CHARRABE (2015) en esta área de estudio, se plantean los siguientes usos para la fracción de arcilla caracterizada:

- En la industria alfarera es recomendable utilizar arcillas con cantidades importantes de illita y caolinita como las de la llanura de Tinaquillo en su prolongación noreste, ya que las condiciones de estos minerales favorecen la fabricación de ladrillos y otros, esta consideración está fundamentada en los estudios de BARRETO Y GODOY (2018), misma valoración también la realiza CHARRABE (2015) en las muestras que analizo de esta área.
- Los minerales presentes en esta área son idóneos para la industria de la cerámica, la misma consideración la realizada CHARRABE (2015). Aunque debe evaluarse la presencia de materia orgánica, ya que la misma debe ser baja para mantener estándares idóneos de calidad según Cerámicas Carabobo

S.A.C.A. Se debe evaluar la presencia de óxidos de hierro en función de conocer si las especies pueden ser consideradas arcillas blancas o rojas.

- En las muestras que estudia CHARRABE (2015) en el área, evalúa aparte de los elementos mineralógicos, algunas propiedades físicas y según su marcha analítica el material encontrado es ideal como desgrasante, esto puede plantearse al resto de acumulaciones de arcilla en el área que presenten similar mineralogía y propiedades físicas.
- Por la presencia de caolinita puede emplearse en la industria del papel, caucho y hasta farmacéutica. Por lo que se recomienda evaluar la concentración de caolinita en los depósitos de interés.

5.3.4.4 Implicaciones geotécnicas de las arcillas caracterizadas

Conociendo que al menos en la zona caracterizada no hay presencia de montmorillonita, ni de otras especies de esmectitas, se puede considerar que esta prolongación de la llanura de Tinaquillo al menos valorando la naturaleza mineralógica de la arcilla, no tiende a mostrar niveles de expansión; aunque se hace necesario considerar que pueden existir acumulaciones menores de arcillas expansivas ya que como se menciona en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia y como consideración análoga, existen las condiciones para la generación de estas especies de arcillas expansivas. Se recomienda por lo tanto, que los estudios geotécnicos en el área valoren la caracterización mineralógica de la fracción de arcilla por medio de DRX.

5.4 Mención especial

Un análisis de difracción valorado para el presente trabajo, caracterizó la especie mineral de Halloysita en el estado Carabobo; este ensayo no ha sido recogido dentro de los trabajos compilados debido a que el mismo no presentaba ubicación por coordenadas, ni mucho menos una localización relativa, por lo que realizar una ubicación de la muestra se hace completamente imposible. El estudio en cuestión puede ser consultado en el Atlas de Materias Primas de Venezuela bajo el nombre de muestra AGCMARU1101, compilado por CAMILLO (2001).

En Venezuela la Halloysita ha sido identificada por RIVERO (1964) en las cercanías a la Colonia Tovar, el plantea que la Halloysita encontrada en la Colonia Tovar se formó por soluciones ascendentes y de baja temperatura posterior a la inyección del cuarzo presente en los esquistos; en dicho estudio también plantea que la relación de feldespato-caolinita en las muestras de arcilla de la cordillera de la costa tiende a guardar relación con el grado de meteorización.

CAPÍTULO 6**SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El trabajo elaborado permitió compilar los ensayos de difracción de rayos X sobre muestras de arcilla, desarrollados a lo largo y ancho del estado Carabobo por autores e instituciones diferentes y con distintos objetivos de investigación; esto con la intención de caracterizar las especies minerales de arcilla que están presentes en el estado. Tal labor arrojó la recuperación de veintidós ensayos sobre muestra de arcilla en cuatro áreas diferentes del estado, los cuales se realizaron bajo condiciones de muestra total, fracción menor a dos micras y glicolado. La evaluación de los ensayos permitió obtener las siguientes conclusiones:

- La especie mineral caolinita es la que más veces ha sido caracterizada en los ensayos sobre muestras de arcilla evaluados, seguido de cerca por la especie mineral de illita; este resultado significa que ambas especies minerales son las más extendidas en el estado Carabobo.
- Los resultados de los ensayos evaluados en el flanco noroeste costero de Carabobo muestran presencia de montmorillonita, vermiculita y de interestratificados I/S; esto permite señalar que es el área con mayor tendencia a presentar minerales de arcilla expansivos, situación que se corrobora por estudios geotécnicos en el área.

El estudio contempló la compilación cartográfica de la geología del estado, donde además se sumaron elementos como la hidrografía y la topografía; esto con la intención de desarrollar un trabajo analítico de la relación existente entre los cuerpos geológicos presentes en el área y la génesis de las distintas especies minerales diagnosticadas. Esta labor permitió establecer que:

- La geología del área favorece la génesis de los minerales de arcillas, debido a la presencia de cuerpos litológicos que presentan una alta incidencia de

feldespatos, plagioclasas y aluminosilicatos; estos minerales al verse afectados por los procesos de meteorización permiten dar paso al desarrollo de diferentes especies minerales de arcillas por procesos de neoformación mineral.

- La condición de ambiente tropical del estado Carabobo, favorece los procesos de meteorización al que se ven expuestas las rocas metamórficas e ígneas que están presentes en el estado; esta condición facilita procesos de hidrólisis mineral y de desilificación, procesos claves que permiten la génesis de especies minerales de arcilla.
- La meteorización a lo largo del estado no ocurre como un proceso homogéneo, esta variación genera que las condiciones de neoformación de los minerales de arcilla varíen en tiempo y lugar; es por esto que al evaluarse la mineralogía encontremos una mezcla de especies minerales de arcilla a lo largo del estado.
- La caolinita tiende a presentarse en lugares con alto grado de acumulación de sedimento cuaternario y probablemente donde los procesos de meteorización sean más presentes.

Posterior al análisis de la génesis de los minerales de arcilla caracterizados, se establecieron las aplicaciones industriales para dichas especies minerales fundamentándose únicamente en su mineralogía. De esta manera se tiene que:

- Las áreas con mayor incidencia de illita y caolinita son recomendadas como arcillas industriales blancas o rojas, las mismas deben ser evaluadas en su contenido de materia orgánica y proporciones de óxido de hierro por medio de FRX. De manera general si son arcillas rojas podrán ser usadas como cerámica de revestimientos, ladrillos, tejas y alfarería; si son arcillas blancas pueden ser usadas como cerámica sanitaria, porcelana, crisoles de fundición, colores y esmaltes. Este es el caso de las arcillas identificadas en la llanura de Tinaquillo en su prolongación noreste y en la cuenca cuaternaria del Lago de Valencia
- El flanco noroeste costero ha sido identificado como el lugar con mayor presencia de arcillas en la especie montmorillonita y de esmectita en general, se conoce de evaluaciones en la región por otros autores de proporciones altas de esmectita en la fracción arcillosa (mayores a 50%); por esto se recomienda

su evaluación principalmente con carácter de cuantificación mineralógica, con la intención de determinar si hay áreas con acumulaciones altas de montmorillonita, que puedan ser catalogadas como depósitos del material arcilloso impuro conocido como “arcilla bentonita” de importante valor comercial. En este proceso es recomendable emplear estudios de FRX para conocer si las especies corresponden a montmorillonita con tendencia a ser sódica o cálcica.

- Para el Valle de Bejuma se recomienda una exploración mayor con la intención de reconocer otras especies minerales de arcillas presentes, como podría ser caolinita, similar a la presente en el Valle de Nirgua en el vecino estado Yaracuy; esto en función de que la única especie mineral de arcilla que se logró identificar es la clorita, y la misma no reviste un uso industrial de mayor importancia para la región.
- En la llanura de Tinaquillo noreste también se sugiere para la fracción de arcilla los usos industriales de la caolinita en sectores como el papel, caucho y farmacéutica. Para cada sector industrial existen proporciones de caolinita que debe estar presente en la arcilla, tales valores son establecidos por cada industria según sus estándares de calidad.
- En el flanco noroeste costero por la presencia de montmorillonita, se recomienda una evaluación a profundidad a fin de establecer si la misma muestra rasgos de litio y en que proporciones, esto con la intención de utilizar dicho material como “arcilla de litio”, ya que la tendencia en la industria energética es de aprovechar esta arcilla para la fabricación de baterías.

En función de conocer las características naturales que presentan las distintas especies de arcillas caracterizadas, se establecieron una serie de implicaciones geotécnicas a tener en cuenta en las áreas caracterizadas, además se realiza la recomendación generalizada de aplicar estudios de DRX a la fracción de arcilla en los diferentes estudios geotécnicos. Se estableció que:

- El flanco noroeste costero de Carabobo presenta minerales de arcilla expansivos como montmorillonita, vermiculita e interestratificados I/S; en la

cuenca cuaternaria del Lago de Valencia (oeste) no se diagnosticaron especies minerales de arcilla con alto grado de expansión, solo de mediana expansión como la vermiculita, a su vez se extrapolaron resultados de estudios de caracterización del lado este de la cuenca, donde si hay identificación de niveles importantes de esmectitas, esta área además se reconoce por la tendencia a presentar rasgos de expansión significativos en los estudios geotécnicos.

El trabajo elaborado ha sido además recogido en una base de datos con una interfaz de tablero de control o *dashboard* disponibles tanto en el *software* de Microsoft© Excel y en la página de internet de ArcGis© Dashboard. El desarrollo de la base de datos facilita el proceso de investigación científica y además la adaptación de la misma como tablero de control permite agilizar y visibilizar la consulta de los datos almacenados en la misma. Se generaron a su vez, una serie de mapas en escala 1:100.000 y 1:25.000 a razón de establecer la base geológica del proyecto y de ubicar las muestras ensayadas, lo cual permite también establecer relaciones entre las arcillas identificadas y la litología de la región. Se desarrolló como elemento adicional una aplicación web donde consultar las muestras de este y otros proyectos de igual índole, donde además se muestran los diferentes cuerpos litológicos de la región. Todos estos elementos permiten en un conjunto mejorar la divulgación de la información científica compilada y las hace comprensibles a públicos no tradicionales, lo que permite acercar la información a actores sociales que puedan interesarse en apoyar o continuar investigaciones de esta índole.

Entendiendo que la idea fundamental de este trabajo recayó en identificar las especies minerales de arcilla presentes en el estado Carabobo, se procede a plantear para los futuros trabajos de esta clase las siguientes consideraciones:

- Direcccionar los próximos estudios de esta índole en la cuantificación de las distintas especies minerales de arcilla identificadas por medio de DRX Y FRX.
- Elaborar análisis por DRX y FRX de la fracción de arcilla, dentro de los trabajos geotécnicos que se elaboren en el estado Carabobo.
- Establecer como elemento primordial de identificación para los picos de 14Å la realización de ensayos sobre muestras cocinadas a 550°C, a razón de que la

única manera de diferenciar las especies de clorita y vermiculita es calcinando la especie mineral de vermiculita a esta temperatura.

- Realizar estudios de FRX que permitan diagnosticar los elementos presentes en las muestras de arcilla, para así conocer las variaciones presentes dentro de las especies minerales identificadas con DRX.
- Desarrollar un intensivo plan de exploración geológica en las áreas señaladas como de interés en el presente trabajo, con la intención de delimitar y cuantificar las reservas de los minerales de arcilla presentes en el estado Carabobo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUERREVERE S. E. & ZULOAGA G. 1937. *Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, 1-24, 8-24.
- ALVARADO H, A. 1985. *El origen de los suelos*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 9-14.
- AVGUSTINIK, A.I. 1983. *Cerámica*. Barcelona, Editorial Reverté S.A. 41-60.
- BAILEY, W., CHAIRMAN, S. 1980. *Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee on clay minerals American mineralogist*. 65: 1-7, Department of Geology and Geophysics. University of Wisconsin-Madison. Madison.
- BARRETO, Y; Y GODOY, S (2018). *Evaluación geológica de los depósitos de arcilla ubicados en el municipio Cruz Salmerón Acosta, península de Araya, estado Sucre*, U.C.V. Caracas.
- BARTON, C.D. Y KARATHANASIS, A.D. (2002) *Clay Minerals*. In: Lal, R., Ed., *Encyclopedia of Soil Science*, Marcel Dekker, New York, USA, 187-192
- BECK C. 1977. *Tectónica polifásica terciaria de la Faja Piemontina en la parte central de la Serranía del Interior, en Venezuela septentrional*. Abstract. VIII Conferencia Geológica del Caribe, Curazao.
- BECK C. 1986. *Geologie de la chaine Caraïbe su meridien de Caracas (Venezuela)*. Soc.Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.
- BELLIZZIA , A. & D. RODRÍGUEZ G. 1966. *Guía de la excursión a la región de Duaca-Barquisimeto-Bobare*. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Guía N° 4, 23 pp.
- BELLIZZIA A. & D. RODRÍGUEZ G. 1967. *Guía de la excursión a la región de Duaca -Barquisimeto - Bobare*. Bol. Geol., Caracas, 8(16): 289-309.
- BELLIZZIA, A. & L. A. GONZÁLEZ S. 1968. *Definición de la Formación Maporita*. Bol. Geol., Caracas. 9(18): 564-565.

- BELLIZZIA A. 1986. *Sistema montañoso del Caribe - Una cordillera alóctona en la parte norte de América del Sur*. Mem. VI Cong. Geol. Venezolano, Caracas 29 sept.-oct. 1985. Edic. Soc. Venezolana Geólogos, 10: 6657-6836.
- BERMÚDEZ, P., & A. N. FUENMAYOR. 1962. *Notas sobre los foraminíferos del Grupo Cabo Blanco, Venezuela*. Asoc. Ven. Geol. Min. y Petr., Bol. Inform., 5(1): 3-16.
- BUSHMAN, J.R. 1959. *Geology of the Barquisimeto area*. A summary report. Bol. Inf.Asoc. Venez. Geol. Min. Petrol., 2(4): 65-84.
- CAMILLO, F. 2001. *Atlas de Materias Primas Venezolanas*. IUT-RC. Caracas.
- CARRADO, K.A; DECARREAU, A; PETIT, S; BERGAYA, F Y LEGALY,G. 2006. *Synthetic clay minerals and purification of natural clays*. Developments in Clay Science, Vol. 1 .pp 115-139.
- CASTRO, D. & RIVERO, W. 2010 *Caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la hacienda El Marques, municipio Zamora, Guatire, estado Miranda*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, p 68.
- CHARRABE, E .2015. *Propuesta de posible uso del material residual, proveniente de laguna de sedimentación de la planta de clasificación. Empresa: arenera y pedrera tauro s.a. Tocuyito, estado Carabobo*. U.C.V. Caracas.
- CONTRERAS, J. 2004. *Flotación de la mica contenida en la laguna de sedimentos de la planta de tratamiento de la Arenera El Torito, Municipio Libertador, Estado Carabobo*. U.C.V. Caracas.
- DANA, J. 1960. *Manual de Mineralogía*. Editorial Reverté. 2^{da} Edición. Madrid España. 446 – 459.
- DÍAZ, P .2014. *Geología de la región de belén, san juan de los Morros y San Sebastián de los reyes, en los estados Carabobo, Guárico y Aragua*. U.C.V. Caracas.

- FOURNIER, H. 1999. *Estudio De Los Minerales De Arcilla En La Sección De Agua Blanca- Altagracia De Orituco. Estado Guárico Y Miranda.* (Trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela.
- GARCÍA, E & SUAREZ, M. 2003. *Las Arcillas: Propiedades Y Usos.* Universidad Complutense, Madrid.
- GÓMEZ A. & F. URBANI. 2013. *Atlas geológico de la parte septentrional de los estados Lara y Yaracuy, Venezuela.* Memorias del V Simposio Venezolano de Geociencias de las Rocas Ígneas y Metamórficas, UCV, Caracas, nov. 2013. Rev. Venezolana de Ciencias de la Tierra (Geos), UCV, Caracas, 45: 57-58 + 1 cartel + 86 hojas geológicas en DVD
- GONZÁLEZ, O; BEZADA, M; MILLÁN, Z & CARRERA, J. 2013. *Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela.* Investigaciones geográficas UNAM. México.
- GONZÁLES de J, C., ITURRALDE, J. & PICARD X. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas.* Ediciones Foninves, Caracas, 1980, 1era Edición.
- GRANDE, S. 2000. *Mineralogía para geólogos.* Trabajo no publicado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- GRANDE, S. 2002. *Guía de Petrología.* Trabajo no publicado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- GRANDE, S. 2000. *Mineralogía y petrología.* Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- GRATEROL, M. 1967. *Investigación petrográfica y mineralógica de las peridotitas y serpentinitas de Loma de Hierro, estados de Aragua y Miranda.* Bol. Geol., Caracas, 8(16): 215-225.
- GRATEROL, M. 1972. *Petrogénesis de la peridotita de Loma de Hierro, estado Aragua.* Mem. VI Conf. Geol. Caribe, Margarita, p. 329-336.
- GUÉDEZ, J Y PÉREZ, R. 1993. *Mineralogía de la fracción arcilla de suelos de la zona alta del Estado Lara.* U.C.L.A. Venezuela

- GUEVARA, R Y LÓPEZ, N. 2012. *Determinación y evaluación de las arcillas expansivas y dispersivas en tres localidades al norte de Venezuela, estados Anzoátegui, Falcón y Miranda*. U.C.V. Caracas.
- HARVEY, C Y LAGALY, G. 2006. *Conventional applications*. Developments. in Clay Science, Vol. 1 .pp 115-139.
- HAZEN, R & FINGER, L 1985. *Comparative Crystal Chemistry: Temperature, Pressure, Composition and the Variation of Crystal Structure*. Edit: Wiley, New Jersey USA.
- HERNÁNDEZ, M. 2006. *Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, estado Aragua*. U.C.V. Caracas.
- HERNANDO, M; HERNANDO, C; BARBA, C Y BARBA S. 2001. *Vermiculita en suelos desarrollados sobre gneis*. EDAFOLOGIA, Vol. 8, pp. 9-19.
- HUFF, W. 2016. *K-bentonites: a review*. American Mineralogist, Volume 101, pages 43–70
- HUMBOLDT , A. VON , 1801. *Esquisse d'un tableau geologique d' Amerique Meridionale*. Jor.Phys., de Chimie, d' Hist. Nat., Paris, 53: 30-60.
- INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS E INDUSTRIALES. 1962. *Arcillas Industriales de Venezuela (Parte 1) "Bases Técnicas"*. INVESTI. Caracas.
- INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS E INDUSTRIALES. 1963. *Arcillas Industriales de Venezuela (Parte 2) "Arcillas de Guayana"*. INVESTI. Caracas.
- INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES TECNOLÓGICAS E INDUSTRIALES. 1966. *Arcillas Industriales de Venezuela (Parte 3) "Arcillas de Venezuela"*. INVESTI. Caracas.
- JUSTO, Á & MORILLO, E. 1999. *Técnicas de difracción de rayos x para la identificación cualitativa y cuantitativa de minerales de la arcilla*. Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla., Sevilla, España.

- KELLER, W.D. 1968. *Flint clays and a flint clay facies*. Clays Clay Miner., 16: 113-128.
- KELLER, W.D. 1979. *Methods of Kaolin Investigation*. Developments in Sedimentology Volumen 27, Paginas 581-590.
- KERR, P.F. .1952. *Formation and Occurrence of Clay Minerals*. Clays and Clay Minerals, 1, 19-32.
- LARA, R. (2014). *Estudio mineralógico de la fracción lodo de los sedimentos de la cuenca del río Tuy, Venezuela*. Trabajo Especial de Grado, U.C.V. Caracas.
- LAUBSCHER H. P. 1955. *Structural and petrogenetic aspects of the Baruta area in the Venezuelan Coast Range*. Eclog. Geol. Helv., 48 (2): 329 - 344.
- LIEN, H. 1985. Recovery of lithium from a montmorillonite-type clay. Bureau of Mine report investigations. 8967. United State department of the interior.
- LINARES, J. HUERTAS, F & CAPEL, J. 1983. *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada: la arcilla como material cerámico. Características y comportamiento* Volumen N°8. Granada España. Pp 479-480.
- MACLACHLAN J. C., R SHAGAM & H. H. HESS . 1960. *Geología de la región de La Victoria, estado Aragua, Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, Public. Esp. 3, 2: 676 - 684. Versión en inglés: Geology of the La Victoria área, Aragua, Venezuela. Bull. Geol. Soc. Am., 71(3):241 - 248.
- MACSOTAY O.; J. F., STEPHAN , & E. ALVAREZ , 1987. *Grupo Lara: Sedimentitas oceánicas y peninsulares en el Cretáceo alóctono de Venezuela occidental*. Bol. Geol., (28): 3-78.
- MAMBIE, S. 2017. *Integración geológica de la región Ocumare de la costa- Maracay- Valencia, estados Aragua y Carabobo*. U.C.V. Caracas.
- MÁRQUEZ, C. 2021. *Integración geológica de la región comprendida entre Puerto Maya-San Casimiro, estados Aragua, Miranda y Vargas*. U.C.V. Caracas.
- MEDERO, R. 2015. *Geología de la Región Palmichal Tinaco Estados Yaracuy y Cojedes, Venezuela*. U.C.V. Caracas.

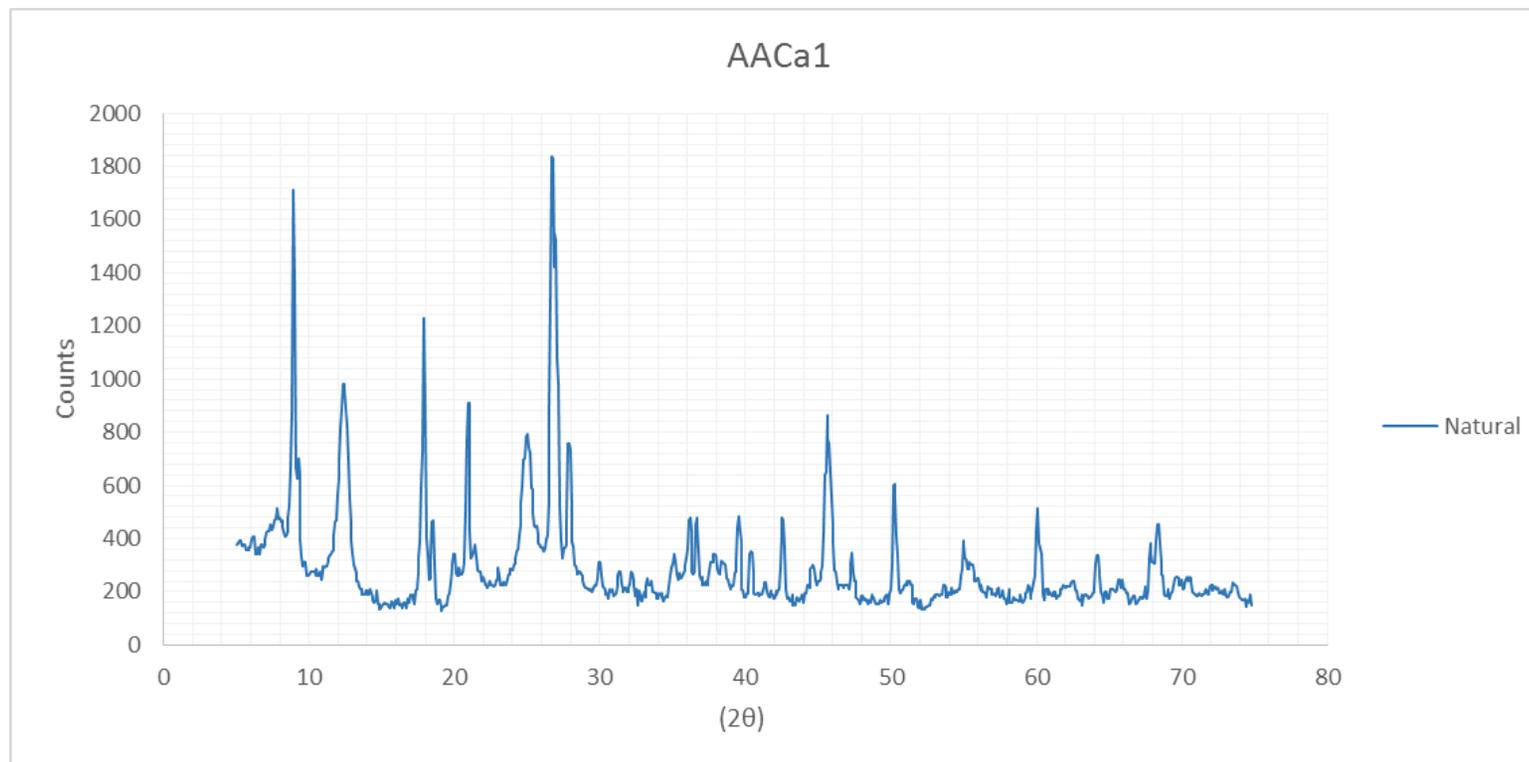
- MENÉNDEZ V. DE V.A. 1965. *Geología del área de El Tinaco, centro norte del estado Cojedes, Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, 6(12): 417-543.
- MENÉNDEZ A. 1966. *Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela*. Bol. Geol., Caracas, 8(15): 116-139.
- MURRAY, H. 2006. *Bentonite applications*. Developments in Clay Science vol 2. Pp 111-130.
- NAVARRO E., M. OSTOS & F. YORIS . 1988. *Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico Medio - Paleógeno*. Acta Científica Venezolana, 39: 427-436.
- NÚÑEZ, S. 2015. *Geología de la región Tinaquillo-Cachinche-Chaparrote, estados Cojedes, Carabobo y Guárico*. U.C.V. Caracas.
- OSTOS M. 1990. *Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos*. Geos, Caracas, (30): 1-294
- PADRÓN, C. 2002. *Estudio sedimentológico de la cuenca de Taguanes, Tinaquillo estado Cojedes*. U.C.V. Caracas.
- PADRÓN, M . 2021. *Caracterización geológica de las arcillas del estado Aragua*. U.C.V. Caracas.
- PEETERS, L. 1968. *Origen y evolución de la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela*. Caracas. Instituto para la conservación del Lago de Valencia. 66 pp.
- PEETERS, L. 1970. *Les relations entre levolution du Lac de Valencia (Venezuela) et les paleoclimats du Quaternaire*. Rev. Geog. Pbys: et Geol. Dyn 12:157-160.
- PEETERS, L. 1971. *Nuevos datos acerca de la evolución de las Cuenca del Lago de Valencia (Venezuela) durante el Pleistoceno Superior y Holoceno*. Inst. Conserv. Lago Valencia, 38pp.
- PEETERS, L. 1973. *Evolución de la Cuenca del Lago de Valencia de acuerdo a resultados de perforaciones*. El Lago, 7 (41): 861-874.
- PEIRSON, A. L. 1965. *Geology of north-central Venezuela*. Informe inédito, Creole Petr. Corp., 337 p.

- PEIRSON , A. L., A. SALVADOR & R. M. STAINFORTH . 1966. *The Guárico Formation of northcentral Venezuela. (La Formación Guárico, Venezuela nor-central.)*. Bol. Infor., Asoc. Ven. Geol. Min. y Petr., 9(7): 183-224
- PINDELL J. L., L. KENNAN , W. V. MARESCH , K. P. STANECK , G. DRAPER & R. HIGGS. 2005. *Plate-kinematics and crustal dynamics of circum-Caribbean arc-continent interactions: Tectonic controls on basin development in Proto-Caribbean margins*. En: H. G. AVÉ-LALLEMANT & V. B. SISSON (eds.), 2005. *Caribbean-South American plate interactions, Venezuela. Geological Society of America Special Paper*, 394: 7-52.
- RENZ O. & SHORT K. C.1960. *Estratigrafía de la región comprendida entre el Pao y Acarigua, estados Cojedes y Portuguesa*. Memorias III Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 1959. Boletín de Geología, Publicación Especial 1: 277-315.
- RIVERO, M. 1962. *Tratigraphic aspects of the mineralogy*. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo (AVGMP). Vol 5 N10.
- RIVERO, M. 1962. *Notas mineralógicas de unas arcillas de Guayana*. GEOS N8. Pp 25-30
- RIVERO, M. 1964. *Contribución al estudio de productos de desintegración de las rocas de la cordillera de la costa*. GEOS N11. PP27-34.
- RODRIGUEZ, M. 2003. *Proyecto de evaluación geológica y geotécnica de la zona Moron-Mirimire, Estado Falcon*. U.C.V. Caracas.
- RODRÍGUEZ, O. 1991. *Minerales y arcillas de los suelos del Estado Lara. II Difractometría de rayos X* . UCLA. Venezuela
- ROSS, C.S., & HENDRICKS, S. 1945. *Minerals of the montmorillonite group, their origin and relation to soils and clays*. USGS
- SÁNCHEZ, Y. 2019. *Integración geológica de la región comprendida entre La Guaira, Caracas y Charallave. En los estados Vargas, Miranda y Distrito Capital*. U.C.V. Caracas.

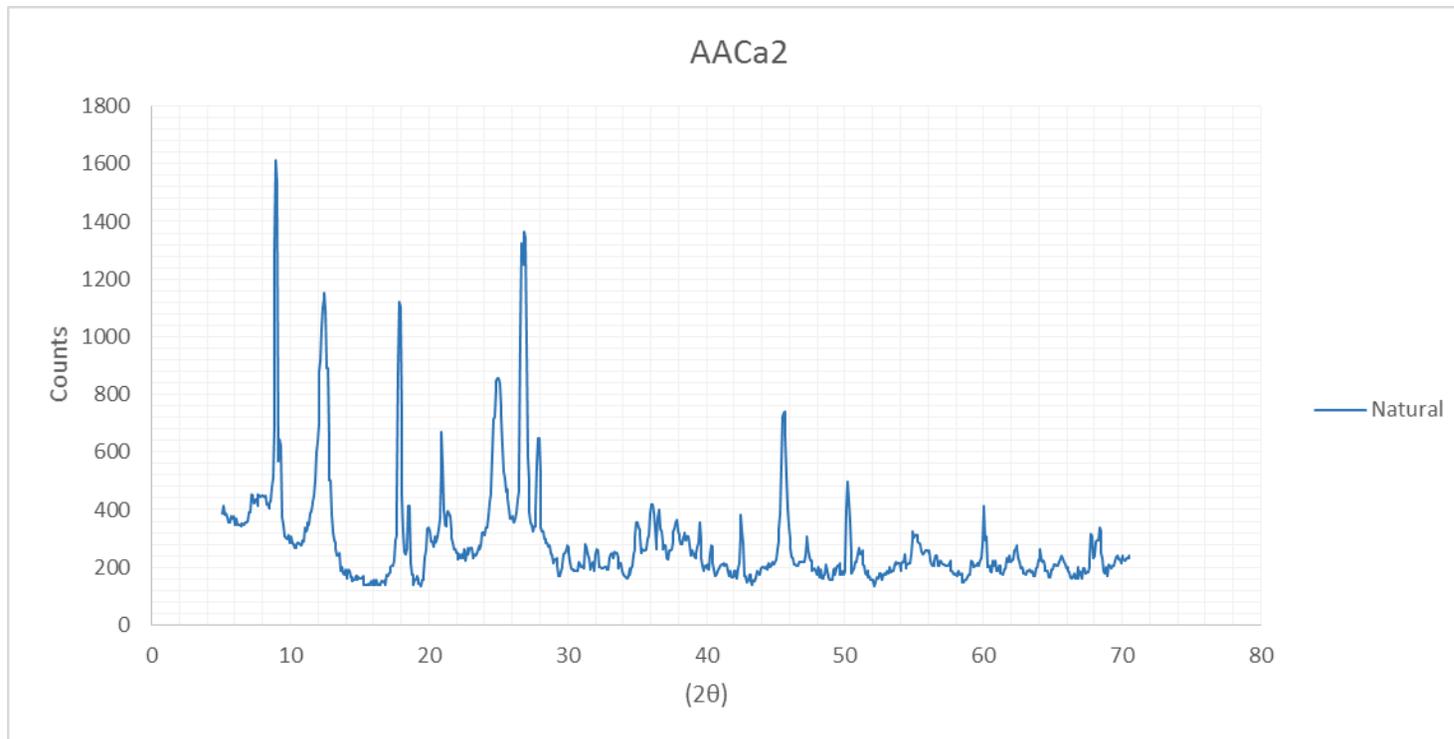
- SASTRE, P. 2010. *Sistemas de Información Geográfica (SIG) Técnicas básicas para estudios de biodiversidad*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid España.
- SHAGAM , R., 1960. *Geología de Aragua central (Venezuela)*. III Cong. Geol. Venez.,Caracas, 1959, 2: 574-675.
- SMITH R. J. 1952. *Geología de la región de Los Teques - Cúa*, Bol. Geol., Caracas, 2(6): 333-406. Versión en inglés: *Geology of the Los Teques - Cúa región, Venezuela*. Bull. Geol. Soc. Amer., 64(1): 41-64.
- SNETHEN *et al.* 1975. *A review of engineering experiences with expansive soils in highway*". Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Estados Unidos, pp 27- 3.
- SRODON, J. 1984. Precise identification of illite/smectite interstratification by X-ray powder Diffraction. *Clays and clay minerals*, 28 (6), 401-411.
- SRODON, J. 1984. X-ray diffraction of illitic materials. *Clays and clay minerals*, 17:23-29.
- SRODON, J Y EBERL, D. 1984. *ILLITE*. Micas, edited by S.W. Bailey, Berlin, Boston: De Gruyter, 1984, pp. 495-544
- STEPHAN J. F. 1982. *Evolution géodynamique du domaine Caraïbe, Andes et chaîne Caraïbe sur la transversale de Barquisimeto (Vénézuéla)*. Univ. Pierre etgoodard Marie Curie (Paris VI). These doctorat d'état. Reproducido en Geos, UCV, Caracas, 42: 142- 143 + 512 p. en carpeta 18 de DVD, 2012.
- STEPHAN F., C. BECK , A. BELLIZZIA & R. BLANCHET . 1982. *La chaîne Caraïbe du Pacifique à l'Atlantique*. XXVIe. Congr. Geol. Int., París, c-5: 38-59.
- TESLA. 2021. *Patent: Selective extraction of lithium from clay minerals*. Disponible el 08/07/2021 en : <https://bit.ly/3fEvsSf>
- URBANI , F. & OSTOS , M. (1989). *El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela*. Geos, UCV, Caracas, 29: 205-217.
- URBANI, F. 2000. *Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Geos, U.C.V, Caracas, 33: 1-170.

- URBANI F. & J. A. RODRÍGUEZ. 2004. *Atlas geológico de la Cordillera de la Costa*. Ediciones Fundación Geos y FUNVISIS, 146 hojas.
- URBANI, F., MARTENS U., PINDELL, J.E. 2013. *U-Pb zircon ages from Yumare, Peña de Mora and San Julián units, Cordillera de la Costa, Venezuela* (Extended abstract). Memorias V Simposio Venezolano de Geociencias de las Rocas Ígneas y Metamórficas, UCV, Caracas, November, en CD. (Reproducido en Revista Venezolana de Ciencias de la Tierra, 45: 141-144).
- URBANI, F. 2015. *Terrane distribution in north-central Venezuela*. En M. SCHMITZ, A. AUDEMARD & F. URBANI (Eds). *El límite oeste de la Placa Suramericana-Estructuras litosféricas de la Superficie al Manto*, Capítulo 3, p.77-100.
- YNFANTE, M. 2017. *Integración geológica de la región comprendida entre Palmasola, Morón y Valencia, estados Yaracuy y Carabobo*. U.C.V. Caracas.
- ZOLTAI, T. & STOUT, J.J. (1976). *Mineralogy*. Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, 2a Ed. Vols. I, II: 756 p

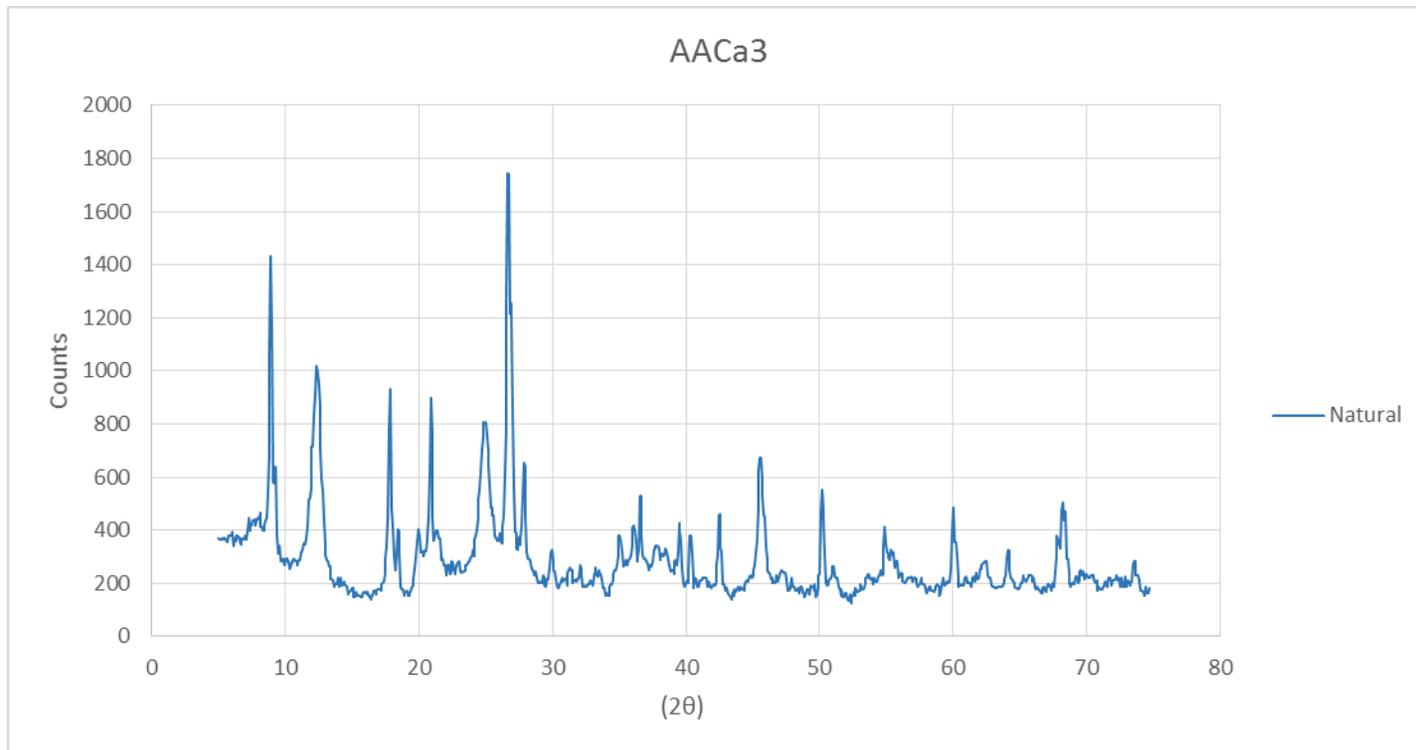
**ANEXOS A
DIFRACTOGRAMAS**



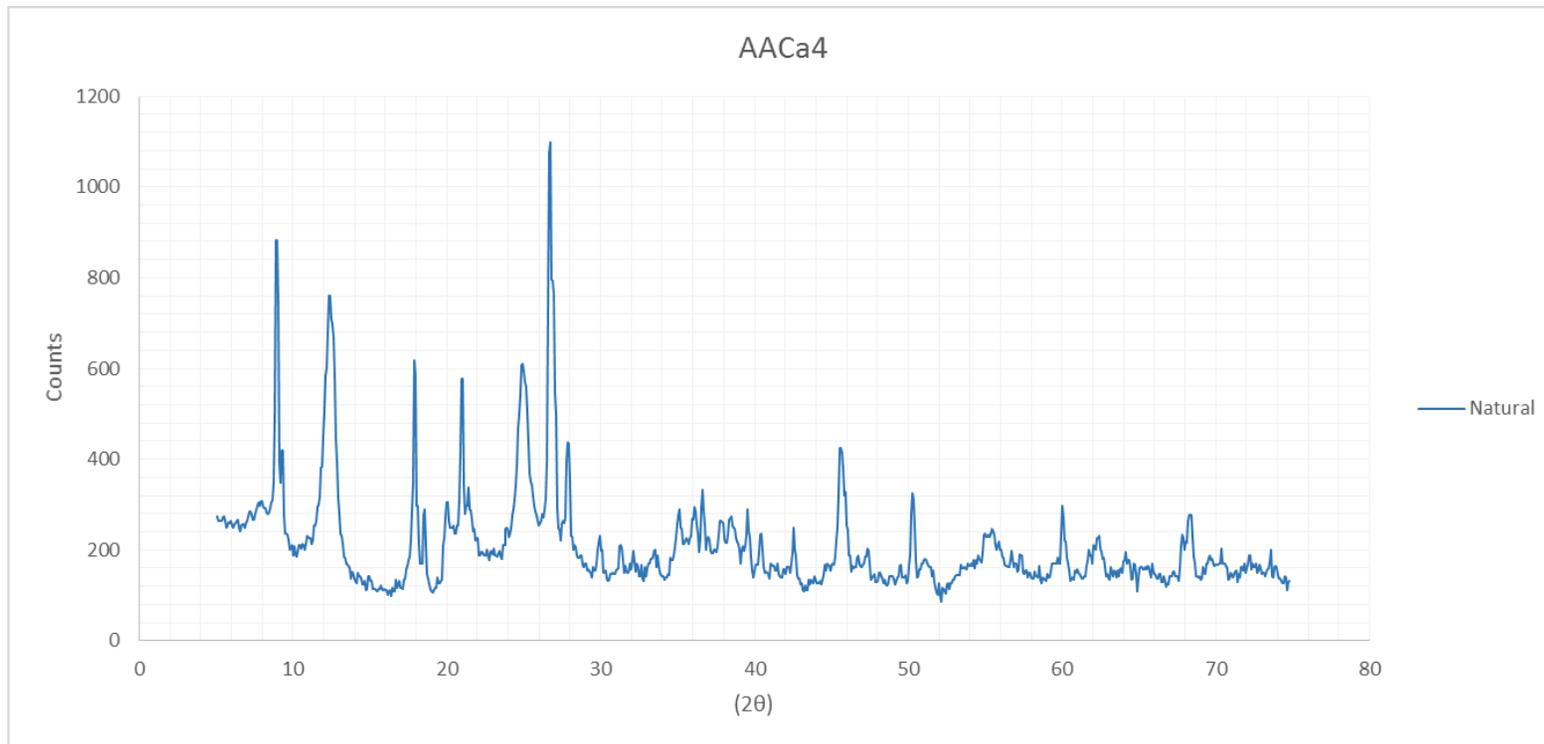
Difractograma de la muestra AACa1



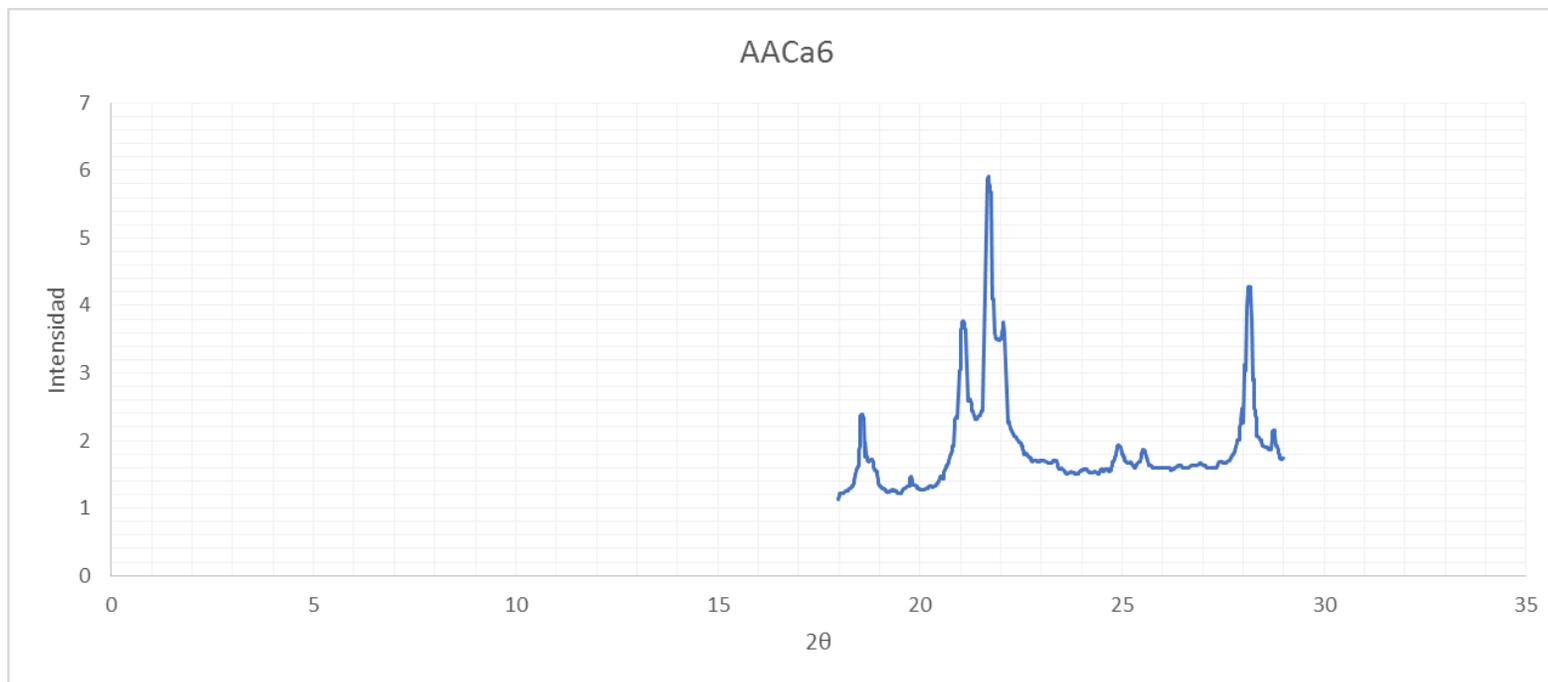
Difractograma de la muestra AACa2



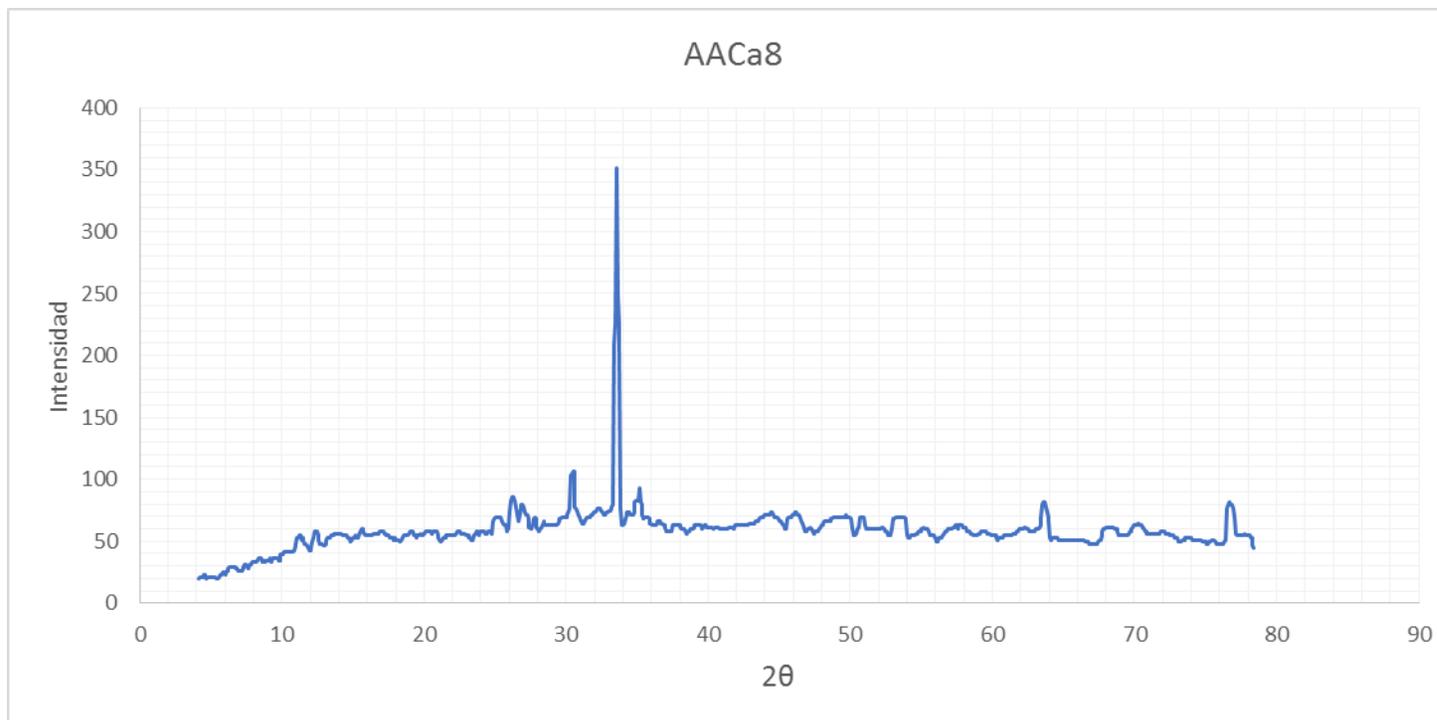
Difractograma de la muestra AACa3



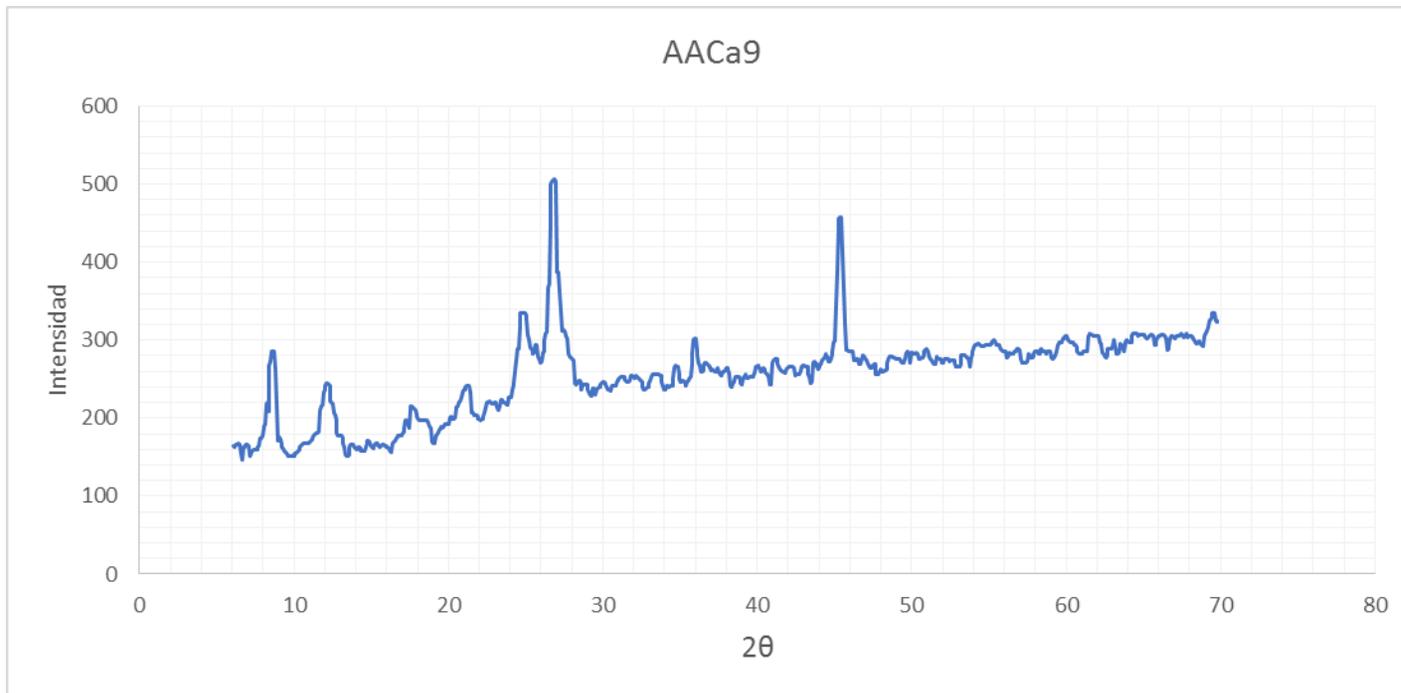
Difractograma de la muestra AACa4



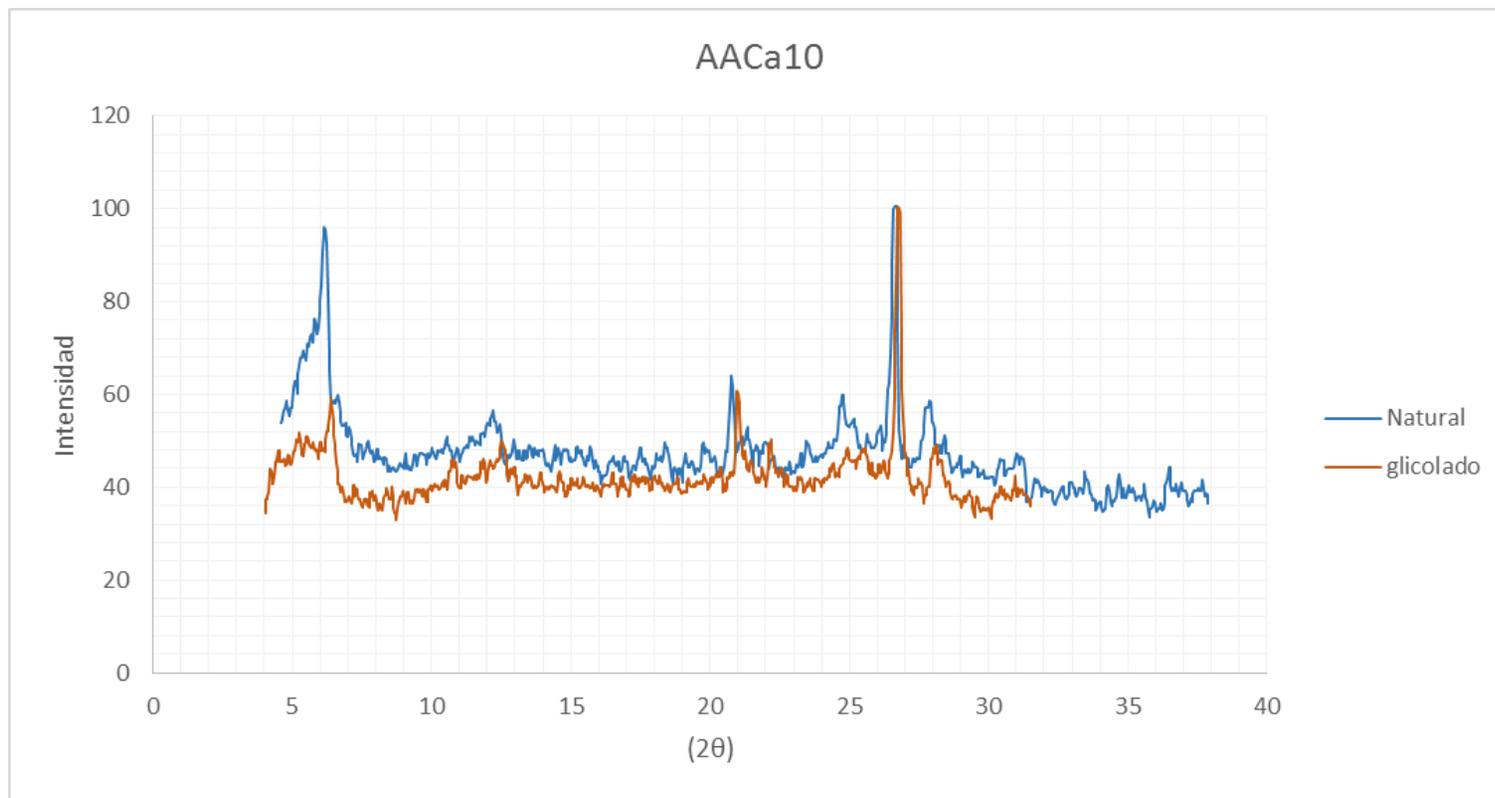
Difractograma de la Muestra AACa6



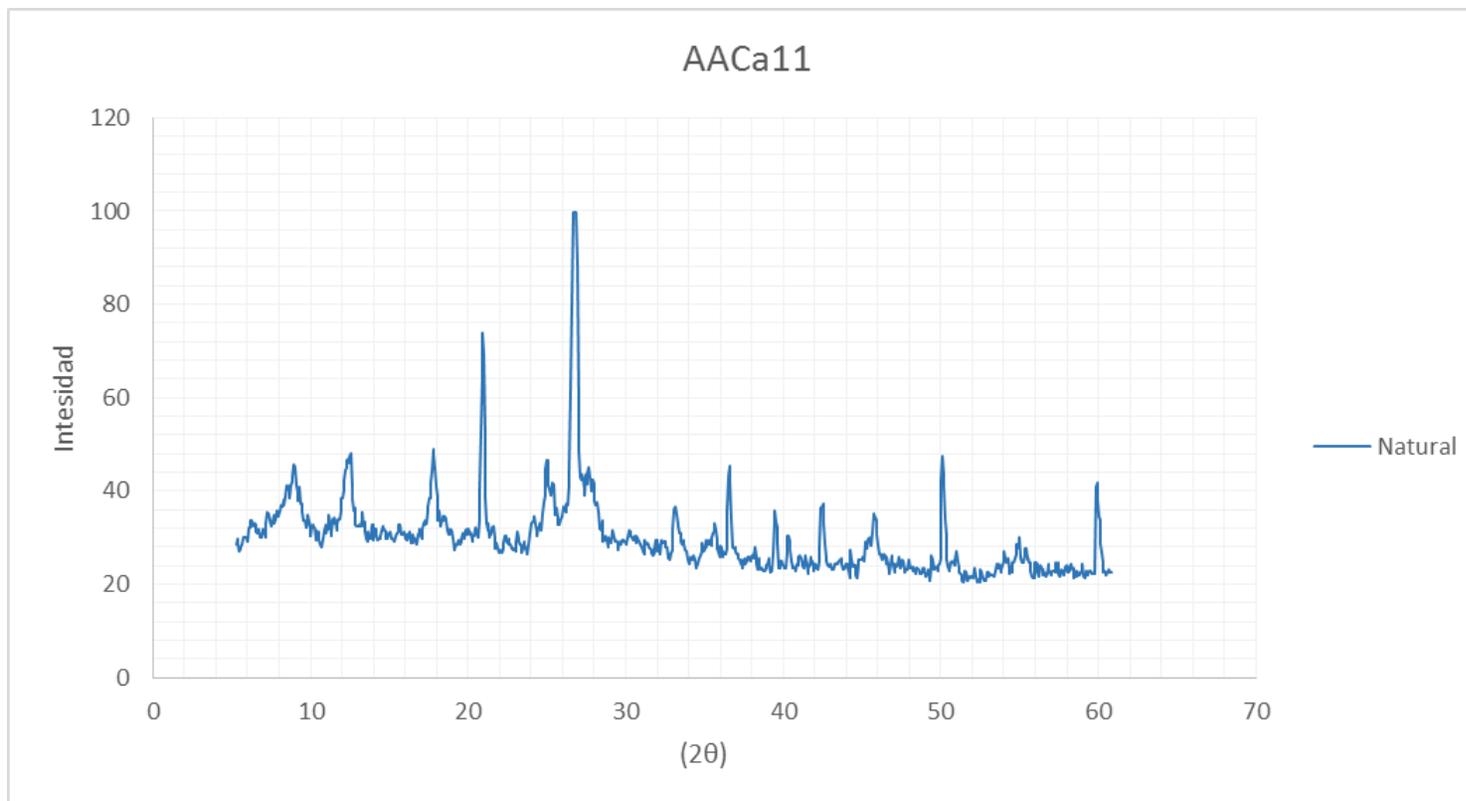
Difractograma de la Muestra AACa8



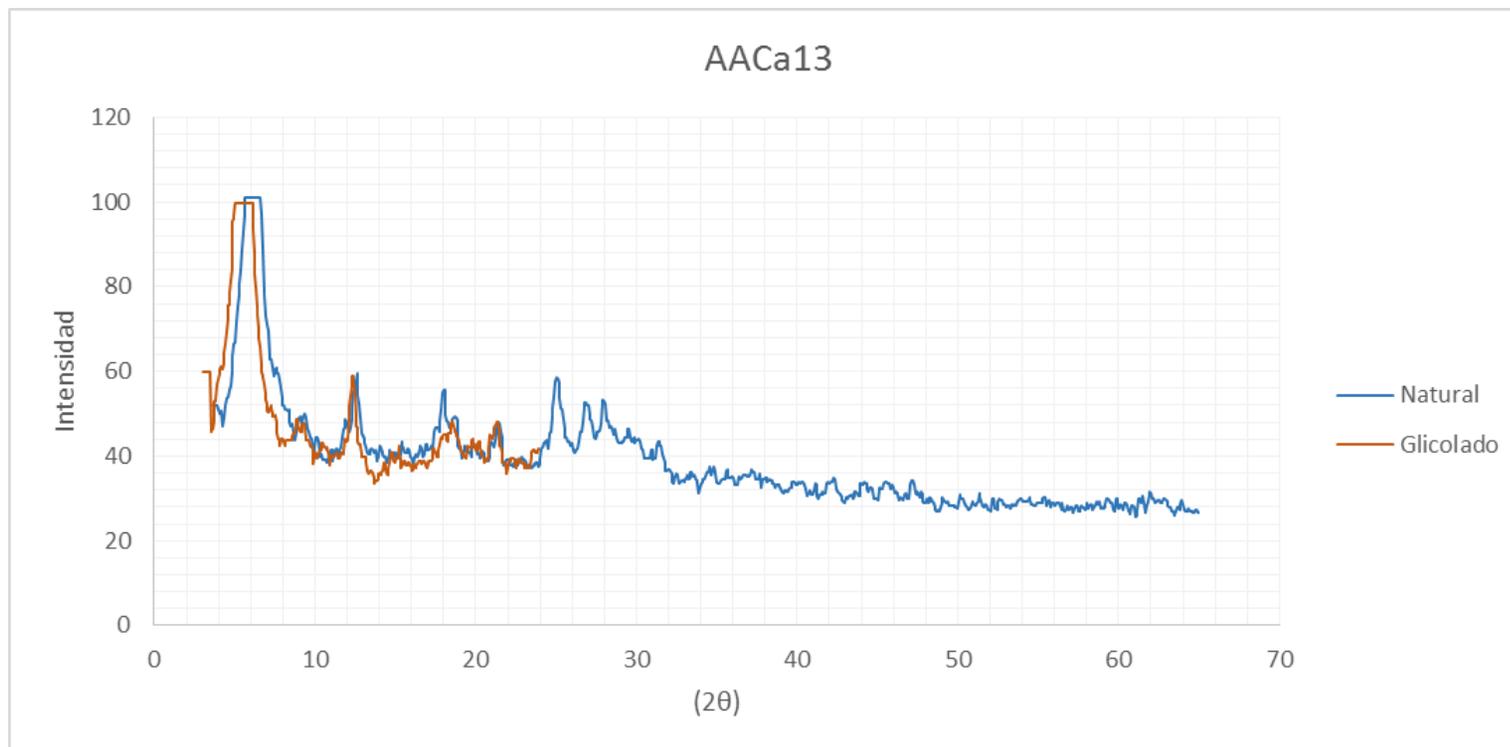
Difractograma de la Muestra AACa9



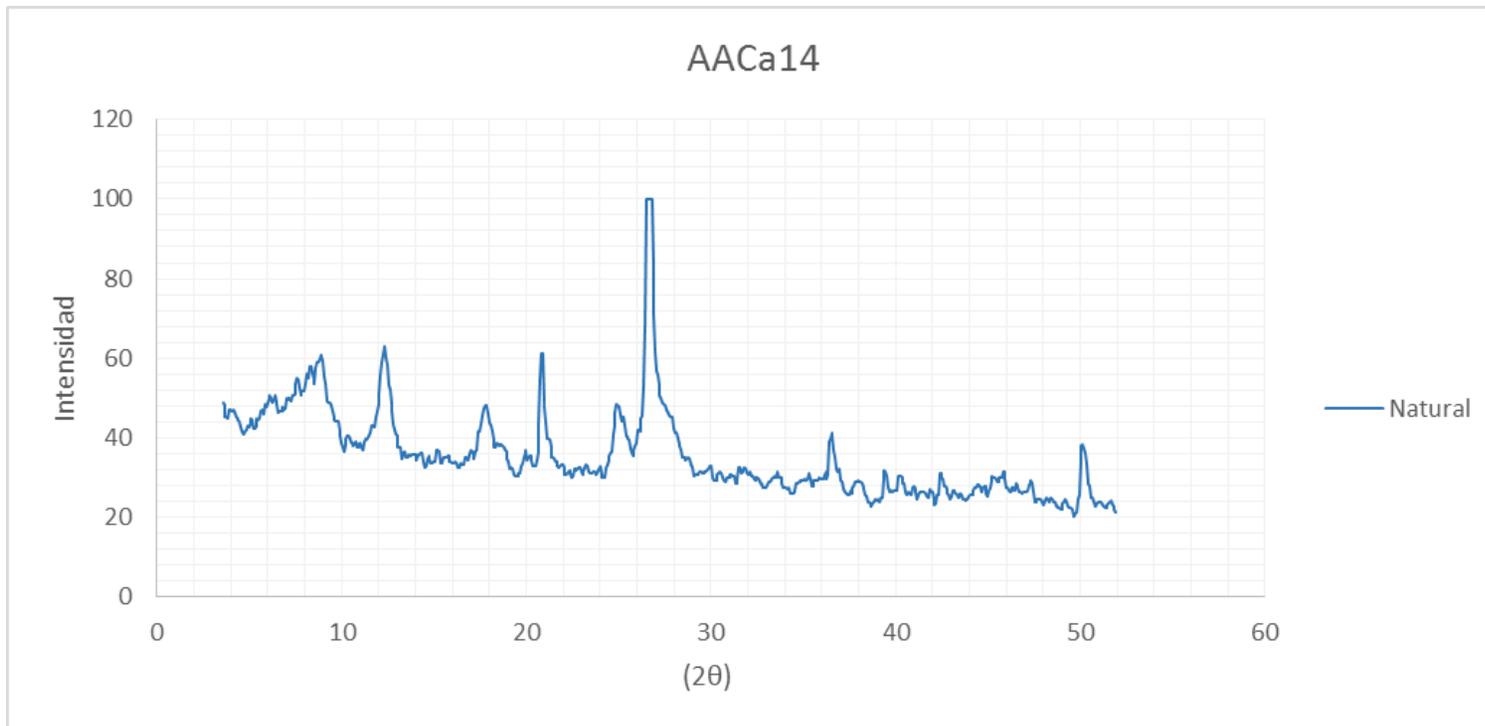
Difractograma de la muestra AACa10



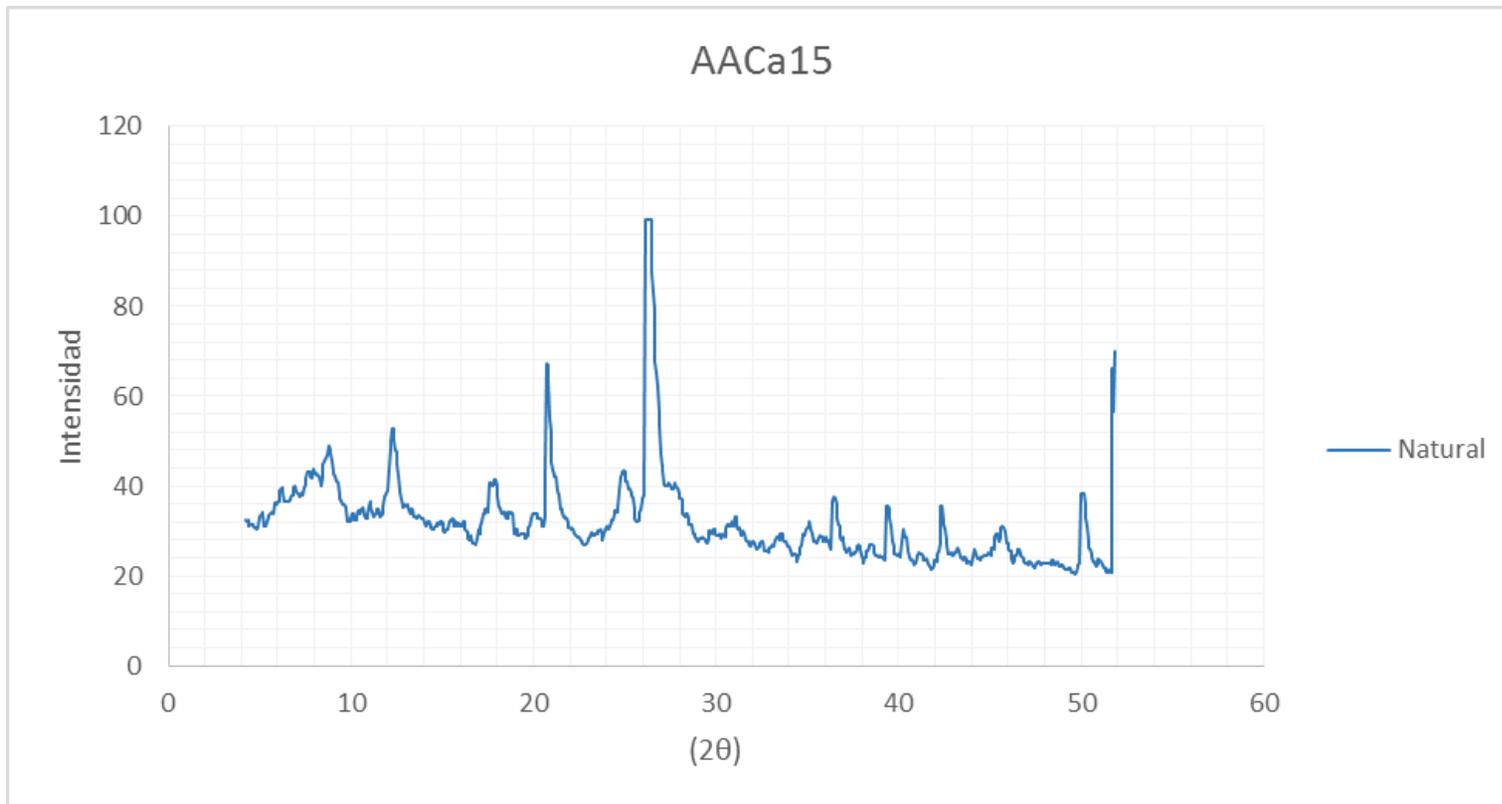
Difractograma de la muestra AACa11



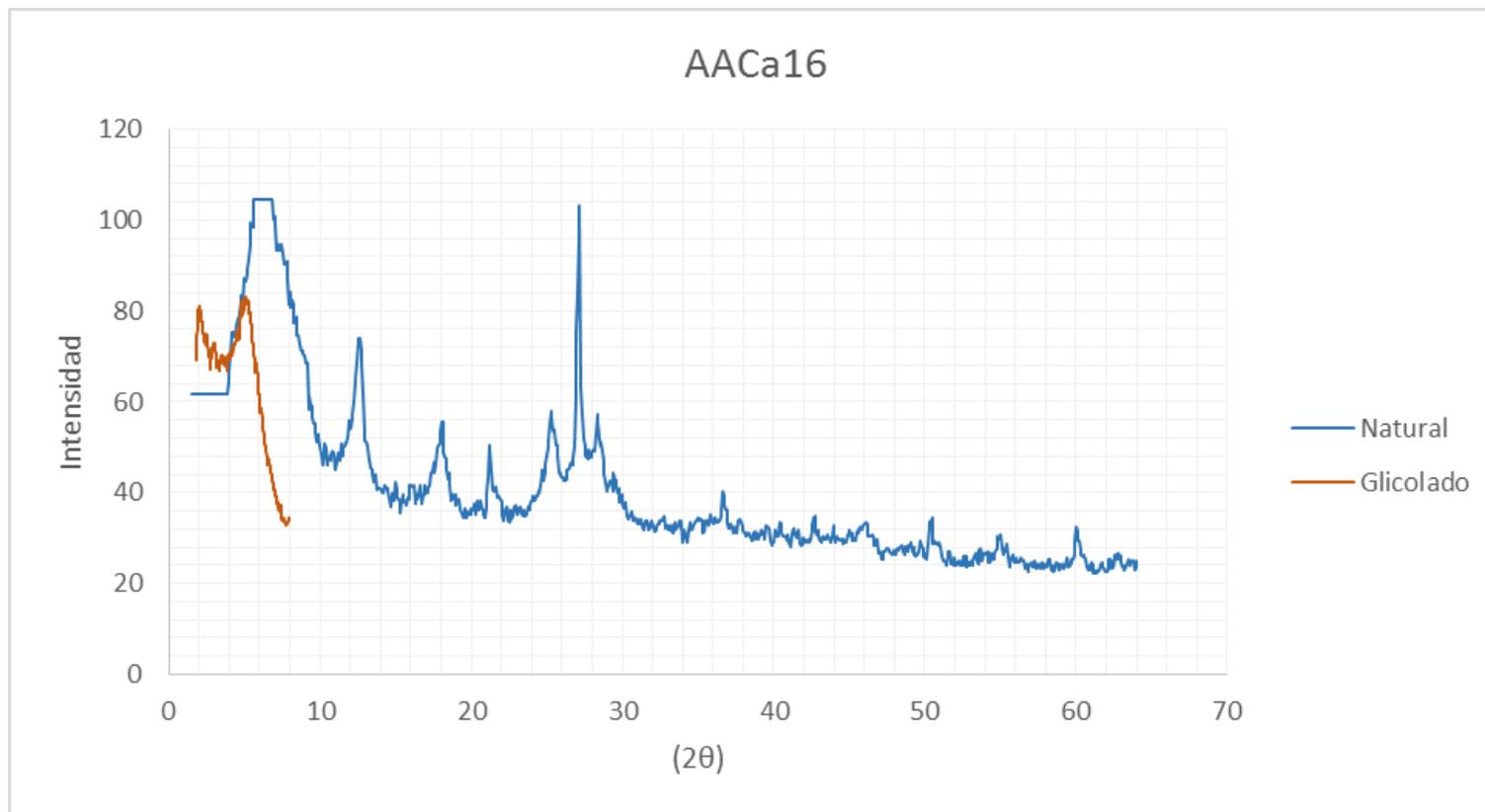
Difractograma de la muestra AACa13



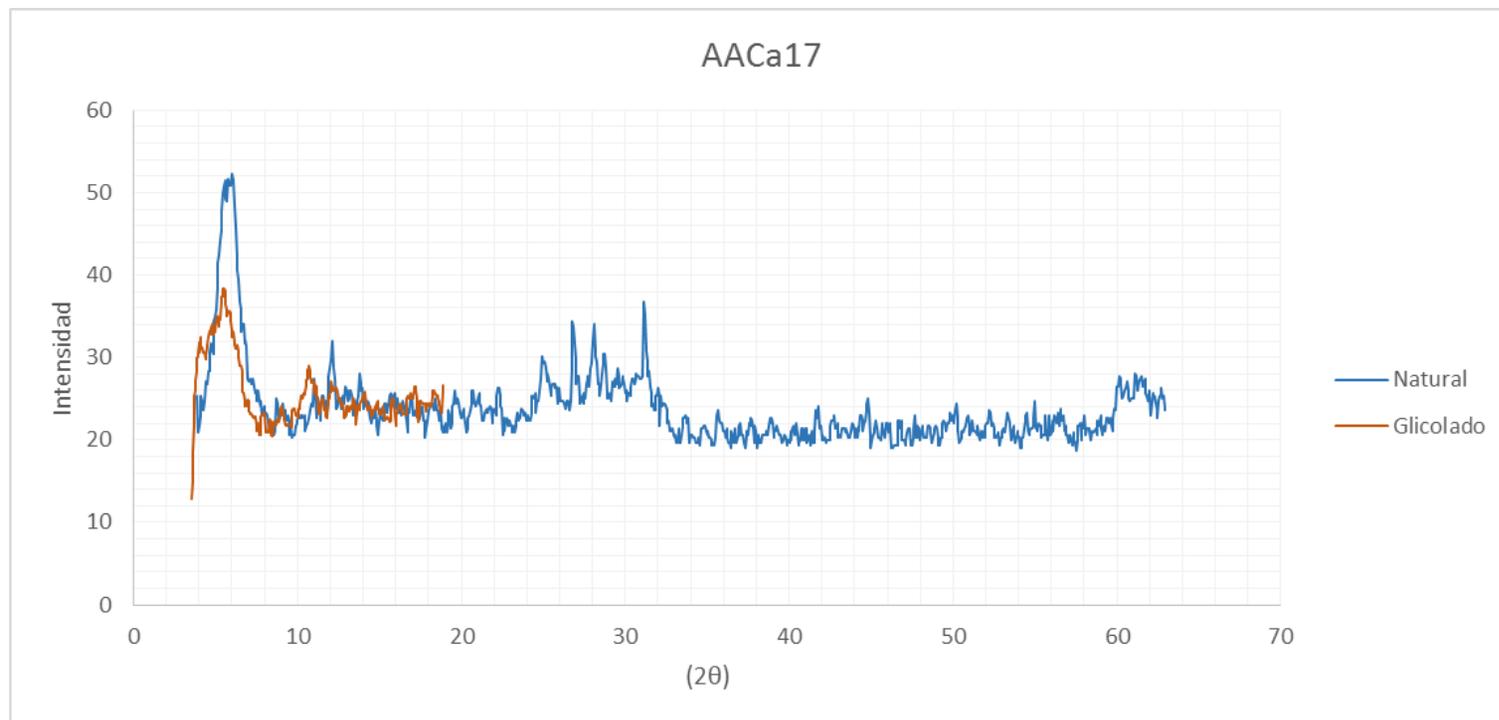
Difractograma de la muestra AACa14



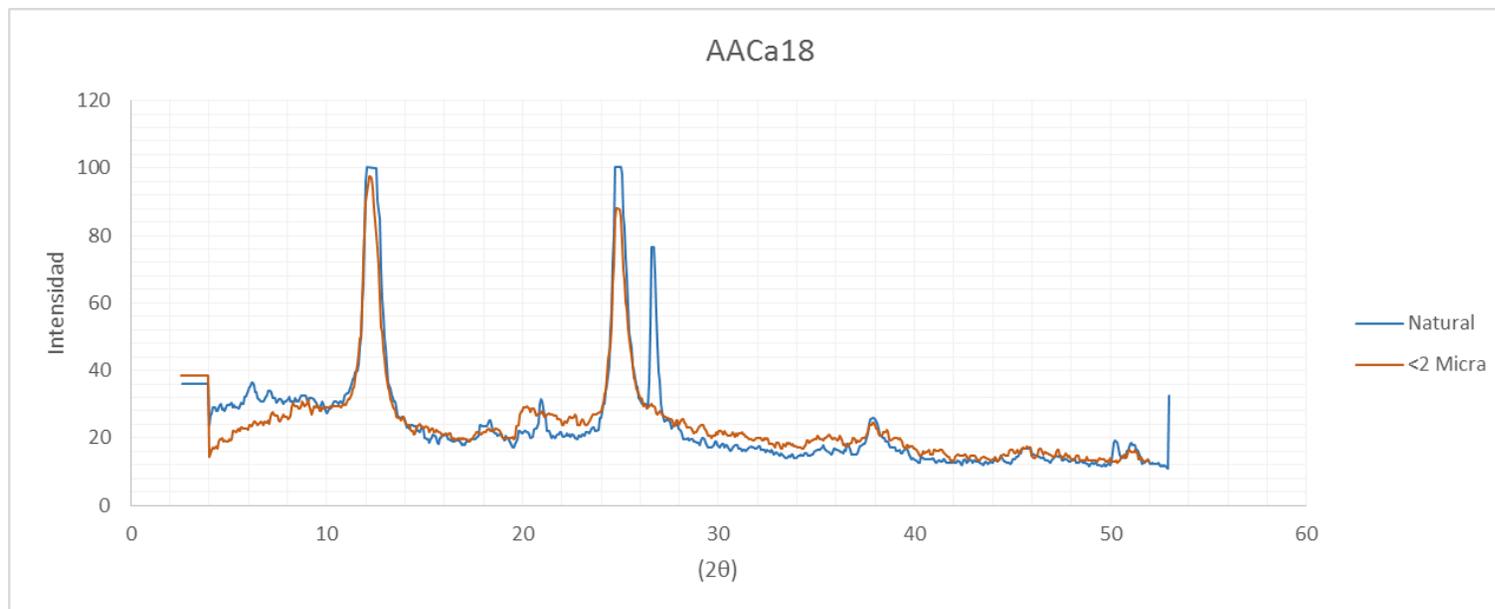
Difractograma de la muestra AACa15



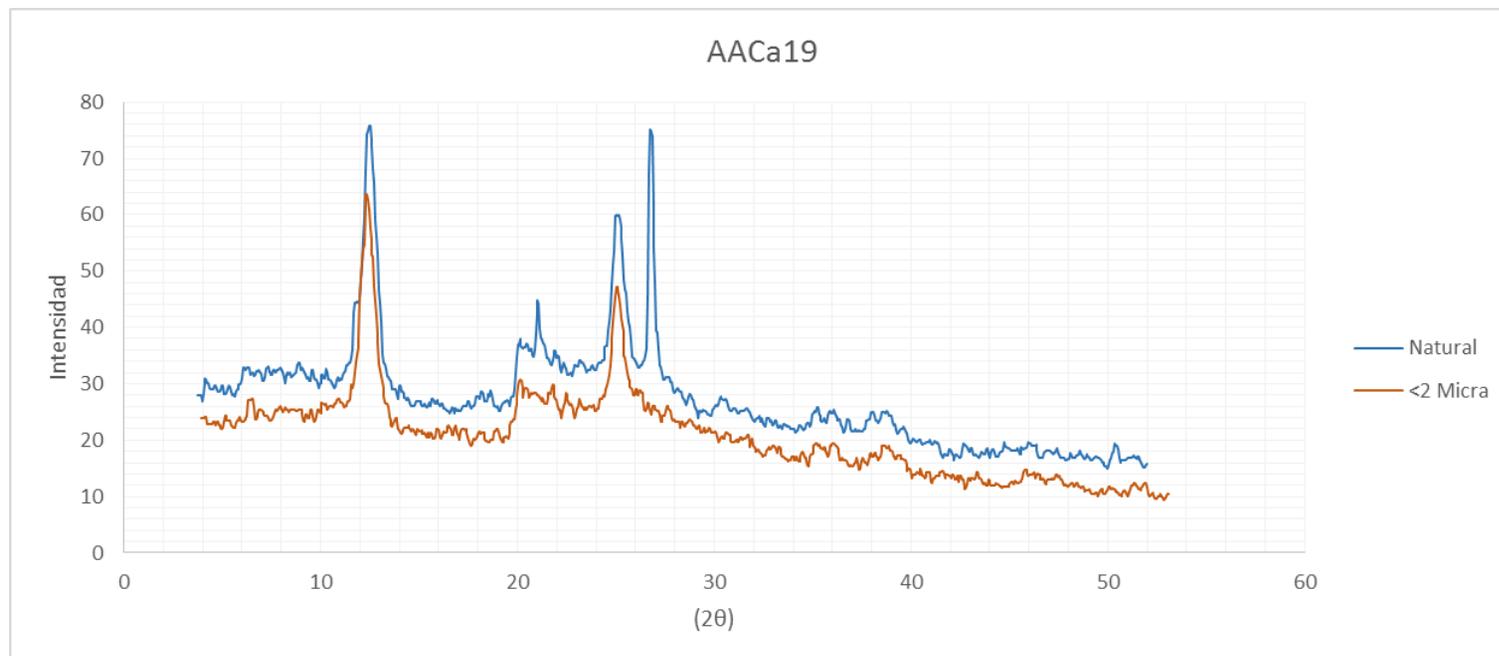
Difractograma de la muestra AACa16



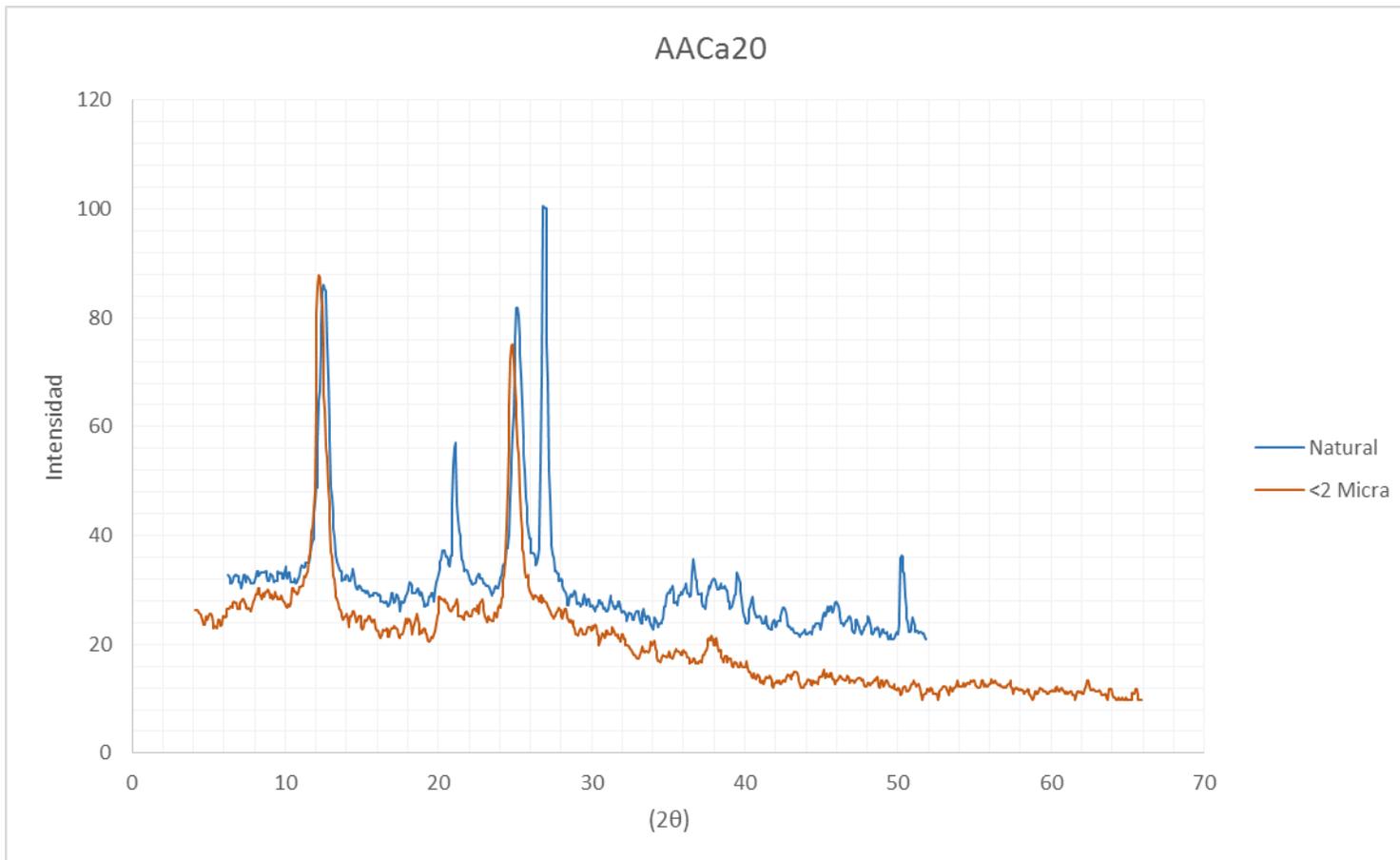
Difractograma de la muestra AACa17



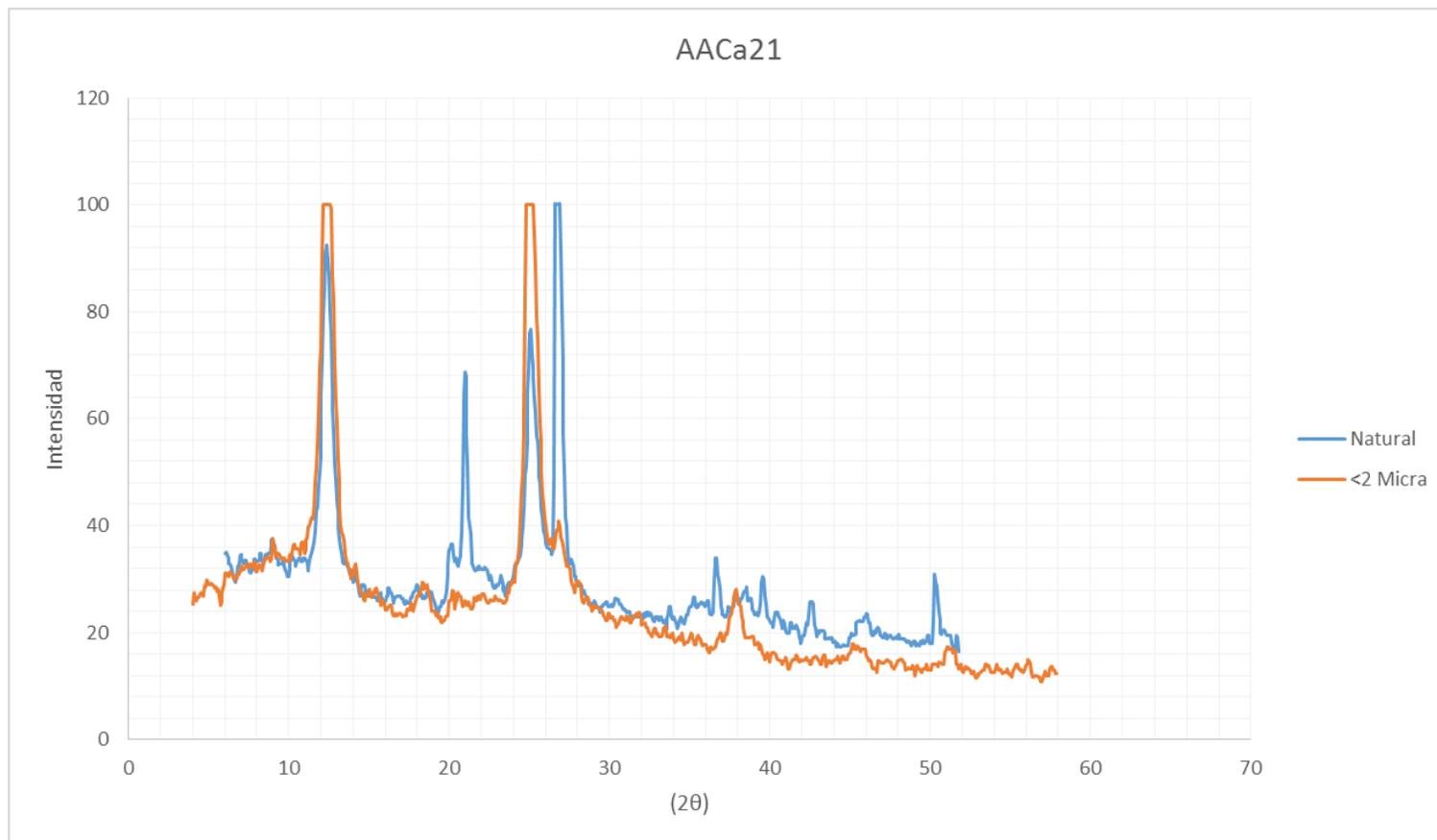
Difractograma de la muestra AACa18



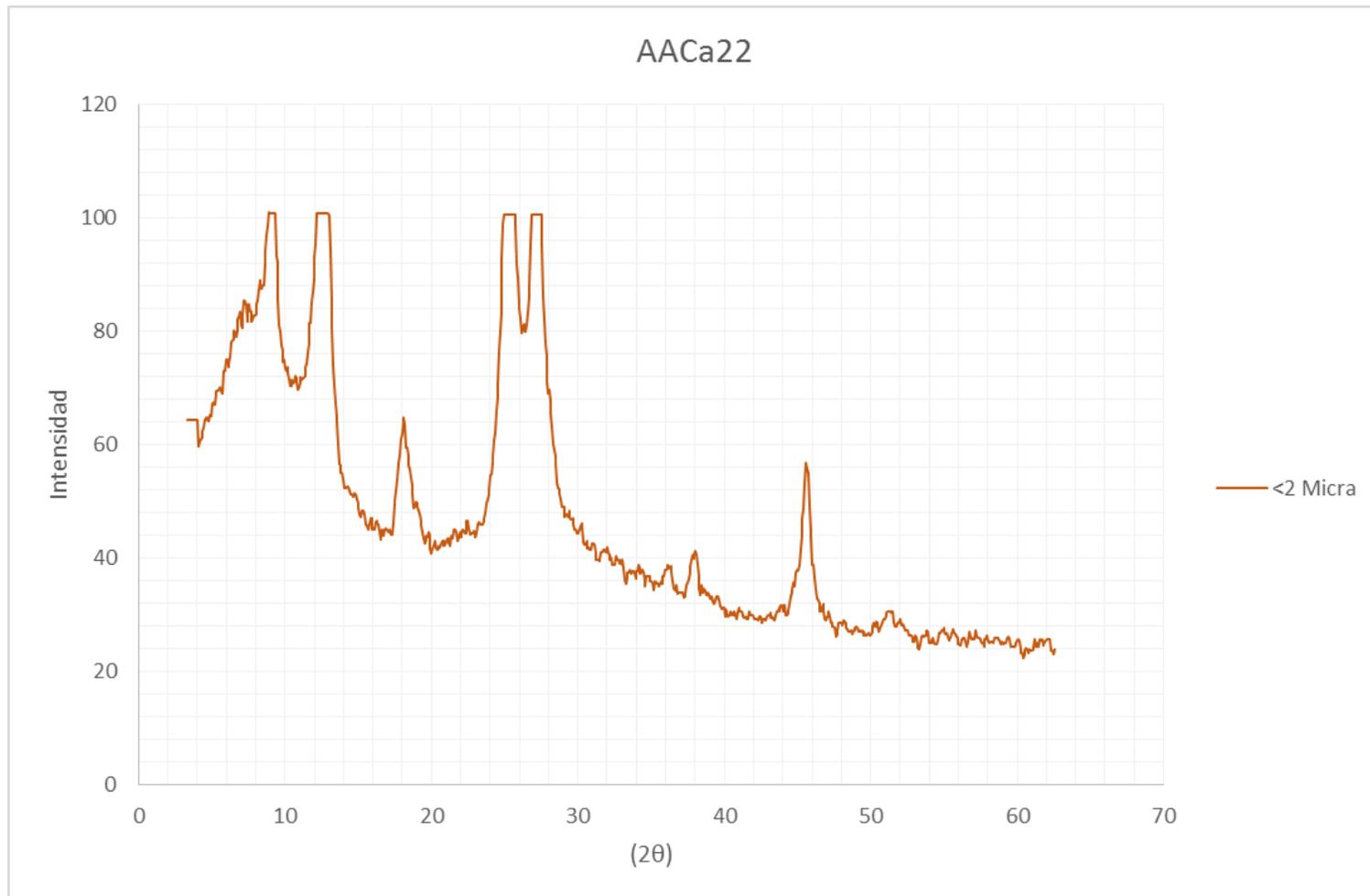
Difractograma de la muestra AACa19



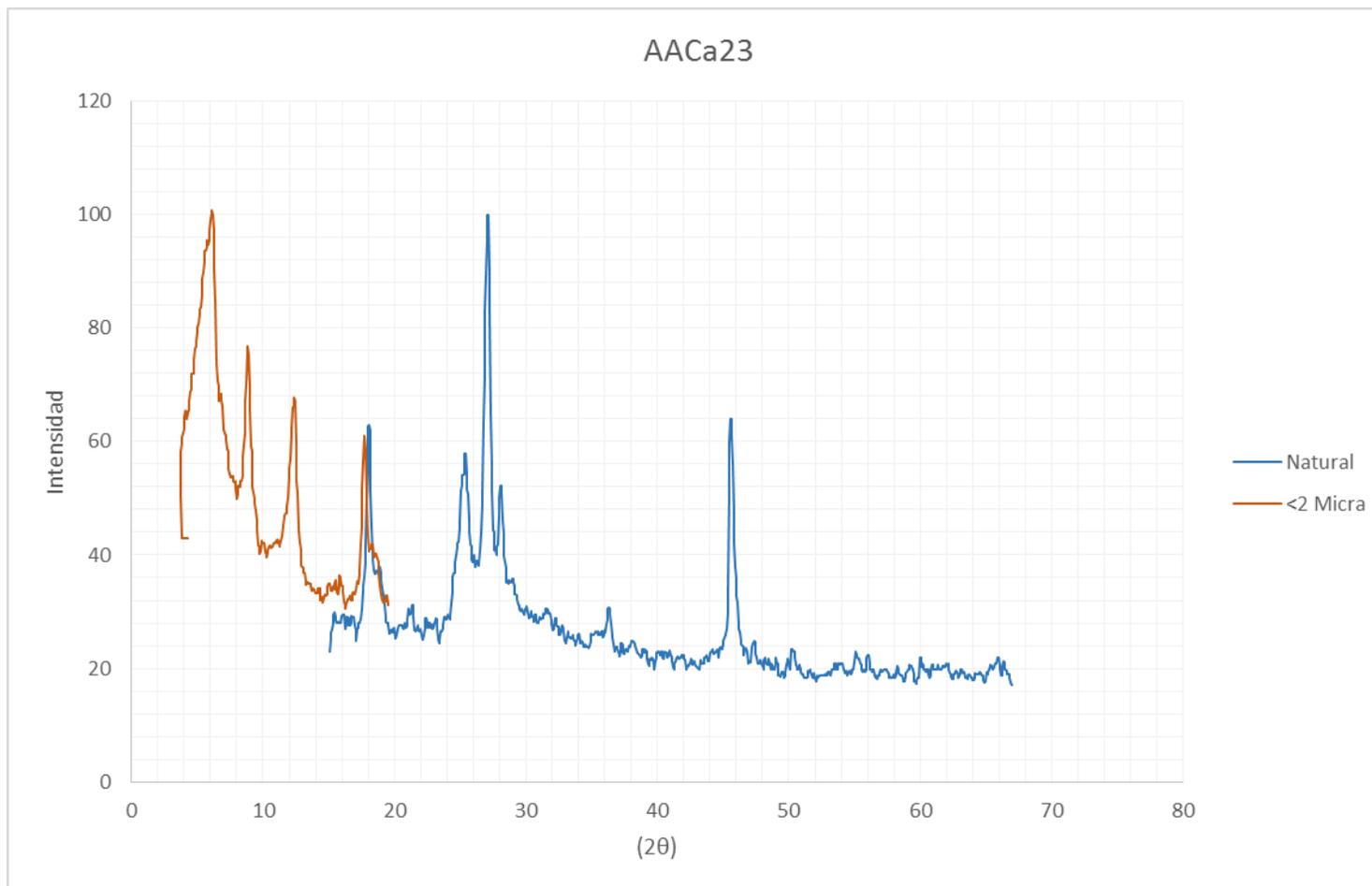
Difractograma de la muestra AACa20



Difractograma de la muestra AACa21



Difractograma de la muestra AACa22



Difractograma de la muestra AACa23

ANEXOS B
CARTOGRAFÍA

**CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO TITULADO
“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO CARABOBO”**

Etapa	Recopilación de información	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FASE 1	Carga de Mapas																								
	Carga y discriminación de tablas y datos																								
	Revisiones con el Tutor																								
FASE 2	Contacto con empresas e instituciones																								
	Recogida de muestras en empresas e instituciones																								
	Revisiones con el Tutor																								
FASE 3	Laboratorio																								
	Selección de muestras																								
	Corridas de muestras (Difracción y fluorescencia)																								
	Revisiones con el Tutor																								
FASE 4	Elaboración de mapas geológicos																								
	Análisis de resultados																								
	Generación de la base de datos																								
	Elaboración del Informe final y de la presentación																								
	Revisiones finales con el Tutor																								
FASE FINAL	Presentación del trabajo																								

