



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



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

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Cappuccio G, Maurizio A.
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

2021



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



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

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Cappuccio G, Maurizio A.,
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo

2021

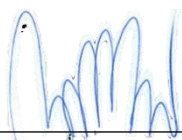
Caracas, Septiembre de 2021

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 Cappuccio Guarino Maurizio Alfonso, titulado:

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO MIRANDA

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**.



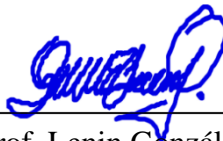
Prof. Ricardo Alezones

Jurado



Prof. Enrique Toribio

Jurado



Prof. Lenin González

Jurado

Cappuccio G., Maurizio A.

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO MIRANDA

Tutor Académico: Prof. Ricardo Alezones. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2020.161 p.

Palabras clave: Arcillas, difracción de rayos X, suelos, cuencas sedimentarias, estado Miranda

Resumen: El presente trabajo tiene por objetivo la caracterización geológica del material de naturaleza arcillosa presente en el estado Miranda a partir de recopilaciones bibliográficas y aportes de información de instituciones, principalmente en forma de difractogramas que permiten la identificación y caracterización de la mineralogía presente en los cuerpos arcillosos. De la búsqueda de información en trabajos de grado, artículos científicos y contacto con empresas e instituciones se obtienen un total de ochenta (80) muestras de arcilla que cuentan con la misma cantidad ensayos de difracción de rayos X realizados a la muestra natural orientada en su plano basal, además sesenta (60) presentan ensayos con etinel glicol y veinticuatro (24) en la fracción menor a dos micras.

En primera instancia se agrupan las muestras en base a su ubicación y cuenca sedimentaria en donde fueron recolectadas para posteriormente analizar los difractogramas de cada una. La lectura de los picos de los difractogramas permite identificar los minerales de arcilla que se encuentran en las muestras, y que se presentan en cinco especies las cuales son illita, montmorillonita, vermiculita, clorita y caolinita. A partir de la mineralogía de arcillas de cada muestra se realiza una asociación de estas y las unidades litológicas cercanas a través de los procesos exogénicos de erosión, meteorización y transporte; esto permite entender que existe una estrecha relación entre las diversas litologías y sus minerales que conforman la Cordillera de la Costa y las

arcillas que se encuentran en las muestras recolectadas en las diversas cuencas sedimentarias del estado Miranda. El análisis mineralógico también señala una predominancia de minerales de arcilla ricos en aluminio como la illita en las cuencas sedimentarias. Con los ensayos glicolados se define el tipo de mineral de illita que se encuentra en cada muestra utilizando el índice de Srodon o relación de illita, de manera que se demuestra que la mayoría de este mineral realmente se trata de una intercalación de láminas de illita con esmectita.

Seguidamente se establecen una serie de recomendaciones de usos basados en la mineralogía de los cuerpos de arcilla de donde fueron recolectadas las muestras. Esto se hace con base en diversos autores que han tratado el tema; y si bien los usos de las arcillas son muy diversos, los que se presentan en este trabajo se limitan a las cerámicas y alfarería para las muestras con presencia de illita y caolinita, el caolín para las muestras con caolinita y el lodo bentonítico para las muestras con montmorillonita. También se hacen una serie de consideraciones en las muestras que presentan minerales de arcilla expansivos como la montmorillonita.

Finalmente, los resultados son plasmados en una serie de mapas a escala 1:100000 y 1:25000 de todo el estado Miranda que cuentan con base topográfica y geológica; y también en una base de datos en el *software* Microsoft Excel en forma de *dashboard* para proporcionar interactividad al momento de realizar consultas.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
I.1 GENERALIDADES	1
I.2 UBICACIÓN	1
I.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.4 OBJETIVO GENERAL	4
I.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
I.6 JUSTIFICACIÓN	5
I.7 ALCANCES.....	6
I.8 ANTECEDENTES.....	6
I.8.1 Casos Nacionales.....	6
I.8.2 Casos Internacionales	7
CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO	9
II.1 ETAPA DE OFICINA	10
II.2 ETAPA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS.....	10
II.2.1 Obtención de resultados	10
II.2.1.1 Índice de Srodon o relación de illita (SRODON, 1984).....	11
II.3 ETAPA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	11
II.4 ETAPA DE REDACCIÓN Y GENERACIÓN DE MAPAS	11
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	13
III.1 BASES CONCEPTUALES	13
III.1.1. Arcilla	13
III.1.2. Filosilicatos	13
III.1.3. Propiedades de las arcillas	15
III.1.4. Arcillas industriales	16
III.1.5. Usos de las arcillas industriales	16
III.1.6. Rayos X.....	17
III.1.7. Difracción de Rayos X.....	17

III.1.8. Base de datos	18
III.2 MARCO GEOLÓGICO	18
III.2.1 Generalidades.....	18
III.2.2 Litología.....	21
III.2.2.1 Napa de Villa de Cura	22
III.2.2.2 Napa de Loma de Hierro	23
III.2.2.3 Napa Caucagua – El Tinaco.....	25
III.2.2.4 Napa de Caracas	26
III.2.2.5 Napa Ávila	27
III.2.2.6 Napa Costera	28
III.2.2.7 Formación Tuy (Plioceno – Pleistoceno).....	28
III.2.2.8 Formación Caucagua (Plioceno – Pleistoceno)	29
III.2.2.9 Formación Guatire (Pleistoceno)	29
III.2.2.10 Formación Mamporal (Cuaternario)	30
III.2.3 Geología Estructural	30
III.2.3.1 Fallamiento.....	30
III.2.3.2 Foliación.....	32
III.2.3.3 Plegamiento.....	32
III.2.4 Cuencas Cuaternarias.....	33
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	36
IV.1 GENERALIDADES.....	36
IV.1.1 Cuenca de Barlovento.....	46
IV.1.1.1 Cuenca Barlovento-Norte	48
IV.1.1.2 Cuenca Barlovento-Sur	49
IV.1.2 Cuenca Guarenas-Guatire.....	49
IV.1.3 Cuenca Tuy-Charallave	51
IV.1.4 Muestras del Metaconglomerado de Charallave	54
IV.1.5 Muestra AAMi3.....	55
IV.1.6 Muestra AAMi5.....	55

IV.1.7 Muestra AAMi52.....	56
IV.2 DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X.....	57
IV.2.1 Muestras de la cuenca de Barlovento	58
IV.2.1.1 Muestras de la cuenca Barlovento Norte	58
IV.2.1.1.1 Illita	59
IV.2.1.1.2 Vermiculita.....	63
IV.2.1.1.3 Caolinita	66
IV.2.1.1.4 Montmorillonita	69
IV.2.1.1.5 Clorita.....	72
IV.2.1.2 Muestras de la cuenca Barlovento Sur.....	75
IV.2.1.2.1 Caolinita	75
IV.2.1.2.2 Illita	79
IV.2.1.2.3 Vermiculita.....	82
IV.2.1.2.4 Montmorillonita	84
IV.2.2 Muestras de la cuenca de Guarenas-Guatire.....	87
IV.2.3 Muestras de la cuenca Tuy-Charallave.....	89
IV.2.3.1 Vermiculita	90
IV.2.3.2 Illita.....	93
IV.2.3.3 Caolinita.....	96
IV.2.3.4 Clorita	99
IV.2.3.5 Montmorillonita	102
IV.2.4 Muestras del Metaconglomerado de Charallave	105
IV.2.4.1 Vermiculita	105
IV.2.4.2 Montmorillonita.....	108
IV.2.4.3 Caolinita.....	111
IV.2.4.4 Illita.....	114
IV.2.5 Muestras AAMi3, AAMi5 y AAMi52.....	117
IV.3 ÍNDICE DE SRODON.....	121
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	125

V.1 GENERALIDADES	125
V.2 CUENCA DE BARLOVENTO	129
V.2.1 Cuenca Barlovento Norte.....	129
V.2.1.1 Análisis de minerales de arcilla.....	130
V.2.1.1.1 Illita.....	130
V.2.1.1.2 Vermiculita	131
V.2.1.1.3 Caolinita	131
V.2.1.1.4 Montmorillonita.....	132
V.2.1.1.5 Clorita.....	132
V.2.1.2 Usos de las arcillas	133
V.2.1.2.1 Cerámicas	133
V.2.1.2.2 Alfarería.....	133
V.2.1.2.3 Caolín	134
V.2.1.2.4 Lodo Bentonítico	134
V.2.1.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas	135
V.2.2 Subcuenca Barlovento Sur.....	136
V.2.2.1 Análisis de minerales de arcilla.....	136
V.2.2.1.1 Caolinita	136
V.2.2.1.2 Illita.....	137
V.2.2.1.3 Vermiculita	137
V.2.2.1.4 Montmorillonita.....	138
V.2.2.2 Usos de las arcillas	138
V.2.2.2.1 Alfarería.....	139
V.2.2.2.2 Caolín	139
V.2.2.2.3 Lodo bentonítico.....	139
V.2.2.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas	140
V.3 CUENCA GUARENAS-GUATIRE	140
V.3.1 Análisis de minerales de arcilla	141
V.3.1.1 Illita	141
V.3.1.2 Caolinita	141

V.3.1.3 Montmorillonita	142
V.3.2 Usos de las arcillas.....	142
V.3.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas.....	142
V.4 CUENCA TUY-CHARALLAVE	142
V.4.1 Análisis de minerales de arcilla	143
V.4.1.1 Vermiculita.....	143
V.4.1.2 Illita	143
V.4.1.3 Caolinita	144
V.4.1.4 Clorita.....	144
V.4.1.5 Montmorillonita	145
V.5.2 Usos de las arcillas.....	145
V.4.2.1 Cerámica.....	145
V.4.2.2 Caolín	146
V.4.2.3 Lodo bentonítico	146
V.4.2.4 Alfarería	147
V.4.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas.....	147
V.5 METACONGLOMERADO DE CHARALLAVE.....	148
V.5.1 Análisis de minerales de arcilla	148
V.5.1.1 Vermiculita.....	148
V.5.1.2 Montmorillonita	149
V.5.1.3 Caolinita	149
V.5.1.4 Illita	150
V.5.2 Usos de las arcillas.....	150
V.5.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas.....	150
V.6 MUESTRAS AAMI3, AAMI5 Y AAMI52	151
CAPÍTULO VI. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
BIBLIOGRAFÍA	157
APÉNDICE. MÉTODOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	166
ANEXOS	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla #3.1. Clasificación de los filosilicatos. Modificado de García, E & Suarez, M. (2003).....	15
Tabla #4.1. Trabajos bibliográficos de los cuales se extrajeron muestras de arcillas.....	39
Tabla #4.2. Muestras del estado Miranda recolectadas por INVESTI	40
Tabla #4.3. Nomenclaturas de las muestras	41
Tabla #4.4. Muestras de la cuenca Barlovento Norte.....	48
Tabla #4.5. Muestras de la cuenca Barlovento Sur	49
Tabla #4.6. Muestras de la cuenca Guarenas-Guatire	50
Tabla #4.7. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave.....	52
Tabla #4.8. Muestras de arcilla del metaconglomerado de Charallave	54
Tabla #4.9. Mineralogía de las muestras de Barlovento Norte.....	58
Tabla #4.9. Mineralogía de las muestras de Barlovento Norte. Continuación	59
Tabla #4.10. Muestras con illita en Barlovento Norte.....	59
Tabla #4.11. Muestras con vermiculita en Barlovento Norte.....	63
Tabla #4.12. Muestras con caolinita en Barlovento Norte	66
Tabla #4.13. Muestras con montmorillonita en Barlovento Norte	69
Tabla #4.14. Muestras con clorita en Barlovento Norte.....	72
Tabla #4.15. Mineralogía de las muestras de Barlovento Sur	75
Tabla #4.16. Muestras con caolinita en Barlovento Sur.....	76
Tabla #4.17. Muestras con illita en Barlovento Sur	79
Tabla #4.18. Muestras con vermiculita en Barlovento Sur	82
Tabla #4.19. Muestras con montmorillonita en Barlovento Sur.....	84
Tabla #4.20. Mineralogía de las muestras de Guarenas-Guatire	87
Tabla #4.21. Mineralogía de las muestras de Tuy-Charallave	89
Tabla #4.22. Muestras con vermiculita en Tuy-Charallave.....	90
Tabla #4.23 Muestras con illita en Tuy-Charallave	93
Tabla #4.24 Muestras con caolinita en Tuy-Charallave	96
Tabla #4.25 Muestras con clorita en Tuy-Charallave.....	99
Tabla #4.26 Muestras con montmorillonita en Tuy-Charallave.....	102
Tabla #4.27. Mineralogía de las muestras del Metaconglomerado de Charallave	105
Tabla #4.28 Muestras con vermiculita en Metaconglomerado de Charallave.....	105
Tabla #4.29 Muestras con montmorillonita en Metaconglomerado de Charallave	108
Tabla #4.30 Muestras con caolinita en Metaconglomerado de Charallave	111
Tabla #4.31 Mineralogía de las muestras AAMi3, AAMi5 y AAMi52	117
Tabla #4.32. Expansividad y presencia de esmectita en illita	122

Tabla #5.1. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para elaboración de cerámicas .	133
Tabla #5.2. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para uso en alfarería.....	134
Tabla #5.3. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para caolín.....	134
Tabla #5.4. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para elaboración de lodo bentonítico	135
Tabla #5.5. Muestras de la cuenca Barlovento Sur recomendadas para uso en alfarería	139
Tabla #5.6. Muestras de la cuenca Barlovento Sur recomendadas para elaboración de lodo bentonítico	139
Tabla #5.7. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para elaboración de cerámicas	145
Tabla #5.8. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para caolín	146
Tabla #5.9. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para elaboración de lodo bentonítico	147
Tabla #5.10. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para uso en alfarería.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura #1.1. Ubicación geográfica del estado Miranda.....	2
Figura #1.2. Mapa Político del estado Miranda sin escala	3
Figura #2.1. Esquema metodológico.....	9
Figura#3.1. Imagen esquemática (sin escala) de la Cordillera de la Costa	20
Figura#3.2. Mapa geológico de la zona del estado Miranda	22
Figura #4.1. Difractograma de la muestra INV 305 Natural	43
Figura #4.2. Ficha de la muestra INV 305 Natural	43
Figura #4.3. Mapa esquemático del estado Miranda donde se indican los lugares de muestreo de cuerpos de arcilla.....	44
Figura #4.4. Cuencas sedimentarias del estado Miranda.....	45
Figura #4.5. División de la cuenca de Barlovento a partir del río Tuy.....	47
Figura #4.6. Unidades sedimentarias de la cuenca de Barlovento	47
Figura #4.7. Mapa de la cuenca Guarenas-Guatire con ubicación de las muestras	50
Figura #4.8. Mapa geológico de la cuenca Guarenas-Guatire.....	51
Figura #4.9. Mapa de la cuenca Tuy-Charallave.....	52
Figura #4.10. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave	53
Figura #4.11. Mapa esquemático del Metaconglomerado de Charallave.....	54
Figura #4.12. Mapa esquemático de la región donde se recolecto la muestra AAMi3	55
Figura #4.13. Mapa esquemático de la región donde se recolecto la muestra AAMi5	56
Figura #4.14. Mapa esquemático de la región donde se recolecto la muestra AAMi52	56
Figura #4.15. Mapa de ubicación de las muestras con illita en Barlovento Norte	60
Figura #4.16. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con illita.....	61
Figura #4.17. Difractograma de la muestra AAMi63 señalando los picos de illita.....	62
Figura #4.18. Mapa de Ubicación de las muestras con vermiculita en Barlovento Norte	64
Figura #4.19. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con vermiculita.....	64
Figura #4.20. Difractograma de la muestra AAMi40 señalando los picos de vermiculita	65
Figura #4.21. Mapa de Ubicación de las muestras con caolinita en Barlovento Norte	67
Figura #4.22. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con caolinita	67
Figura #4.23. Difractograma de la muestra AAMi60 señalando los picos de caolinita	68
Figura #4.24. Mapa de Ubicación de las muestras con montmorillonita en Barlovento Norte	70
Figura #4.25. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con montmorillonita	70
Figura #4.26. Difractograma de la muestra AAMi54 señalando los picos de montmorillonita	71
Figura #4.27. Mapa de Ubicación de las muestras con clorita en Barlovento Norte.....	73
Figura #4.28. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con clorita.....	73

Figura #4.29. Difractograma de la muestra AAMi57 señalando los picos de clorita	74
Figura #4.30. Mapa de Ubicación de las muestras con caolinita en Barlovento Sur.....	77
Figura #4.31. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Sur con muestras con caolinita.....	77
Figura #4.32. Difractograma de la muestra AAMi70 señalando los picos de caolinita	78
Figura #4.33. Mapa de Ubicación de las muestras con illita y vermiculita en Barlovento Sur	80
Figura #4.34. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Sur con muestras con illita y vermiculita	80
Figura #4.35. Difractograma de la muestra AAMi74 señalando los picos de illita.....	81
Figura #4.36. Difractograma de la muestra AAMi70 señalando los picos de vermiculita	83
Figura #4.37. Mapa de Ubicación de las muestras con montmorillonita en Barlovento Sur.....	85
Figura #4.38. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Sur con muestras con montmorillonita.....	85
Figura #4.39. Difractograma de la muestra AAMi80 señalando los picos de montmorillonita	86
Figura #4.40. Difractograma de la muestra AAMi12.....	88
Figura #4.41. Mapa de Ubicación de las muestras con vermiculita en Tuy-Charallave.....	91
Figura #4.42. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con vermiculita	91
Figura #4.43. Difractograma de la muestra AAMi14 mostrando la vermiculita	92
Figura #4.44. Mapa de Ubicación de las muestras con illita en Tuy-Charallave	94
Figura #4.45. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con illita	94
Figura #4.46. Difractograma de la muestra AAMi132 mostrando la illita.....	95
Figura #4.47. Mapa de Ubicación de las muestras con caolinita en Tuy-Charallave.....	97
Figura #4.48. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con caolinita.....	97
Figura #4.49. Difractograma de la muestra AAMi20 mostrando la caolinita	98
Figura #4.50. Mapa de Ubicación de las muestras con clorita en Tuy-Charallave	100
Figura #4.51. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con clorita	100
Figura #4.52. Difractograma de la muestra AAMi45 mostrando la clorita	101
Figura #4.53. Mapa de Ubicación de las muestras con montmorillonita en Tuy-Charallave.....	103
Figura #4.54. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con montmorillonita.....	103
Figura #4.55. Difractograma de la muestra AAMi20 mostrando la montmorillonita	104
Figura #4.56. Mapa de las muestras con vermiculita en el Metaconglomerado de Charallave	106
Figura #4.57. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con vermiculita	106
Figura #4.58. Difractograma de la muestra AAMi16 mostrando la vermiculita	107
Figura #4.59. Mapa de las muestras con montmorillonita en el Metaconglomerado de Charallave ...	109
Figura #4.60. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con montmorillonita	109
Figura #4.61. Difractograma de la muestra AAMi13 mostrando la montmorillonita	110
Figura #4.62. Mapa de las muestras con caolinita en el Metaconglomerado de Charallave	112
Figura #4.63. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con caolinita.....	112

Figura #4.64. Difractograma de la muestra AAMi25 mostrando la caolinita	113
Figura #4.65. Mapa de las muestras con illita en el Metaconglomerado de Charallave.....	115
Figura #4.66. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con illita	115
Figura #4.67. Difractograma de la muestra AAMi13 mostrando la illita	116
Figura #4.68. Difractograma de la muestra AAMi3.....	118
Figura #4.69. Difractograma de la muestra AAMi5.....	119
Figura #4.70. Difractograma de la muestra AAMi52.....	120

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

I.1 GENERALIDADES

El presente trabajo se efectuó en el área correspondiente al estado Miranda abarcando los 21 municipios que lo conforman; teniendo como principal finalidad la caracterización de los cuerpos de arcillas que se encuentran en este estado para así poder generar un mapa con la ubicación y descripción de estos. Este trabajo se pretende llevar a cabo para facilitar los futuros trabajos de exploración de estos recursos, permitiendo el aprovechamiento de estos para diversas industrias como la elaboración de cerámicas y ladrillos, diversos productos químicos, lodos de perforación, agricultura, etc.

I.2 UBICACIÓN

El área de estudio corresponde al estado Miranda, que se encuentra conformado por 21 municipios. Este abarca una superficie total de 7950 km² y la región se encuentra definida al norte y oeste por un relieve abrupto con elevaciones y valles intramontañosos orientados en dirección este-oeste característicos de la Cordillera de la Costa; hacia el sur y sureste, el relieve está constituido por depresiones como los Valles del Tuy y la depresión de Barlovento.

Basándose en el Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa de Urbani y Rodríguez (2004), el estado Miranda geológicamente abarca partes de las napas de la Serranía del Litoral y la Serranía del Interior, estas se encuentran alineadas en dirección este-oeste y éstas subdivididas a su vez en varias unidades ígneo-metamórficas. La gran variedad litológica, el clima húmedo tropical y el relieve abrupto contribuyen a la formación de grandes cuerpos arcillosos ya sea como suelos residuales producto de la meteorización, o como sedimentos transportados y depositados en las depresiones que funcionan como cuencas, por ejemplo, la Cuenca del Tuy o la de Guarenas - Guatire.

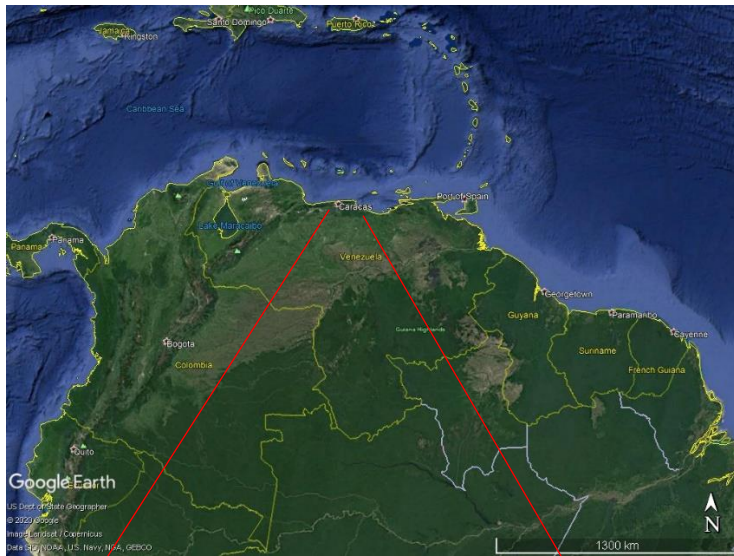


Figura #1.1. Ubicación geográfica del estado Miranda. Extraído de Google Earth (2020)

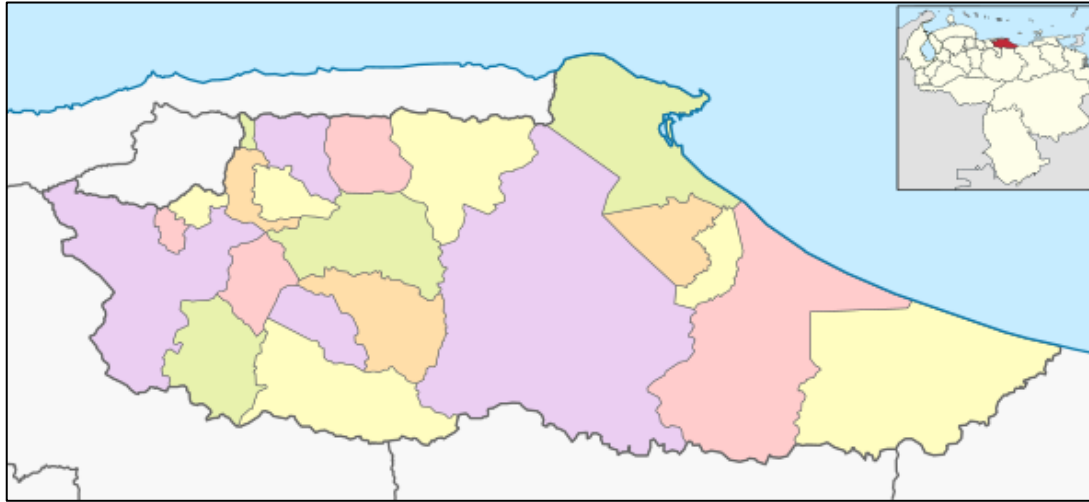


Figura #1.2. Mapa Político del estado Miranda sin escala. Extraído de Wikipedia
(https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_Miranda, 2020)

I.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La topografía del estado Miranda es sumamente diversa, presentando elevaciones y valles tectónicos, depresiones y llanuras, y hasta zonas costeras; sumado a esto, también cuenta con una red fluvial y un clima relativamente húmedo que genera un alto perfil de meteorización y erosión, además de mecanismos de transporte y depositación; por tales motivos, se encuentran grandes zonas cubiertas por sedimentos aluviales y fluviales que generan suelos (residuales y transportados) compuestos en su mayoría por material arcilloso. La litología que presenta el estado, y que genera estos materiales arcillosos también es muy variada; en su mayoría se presentan secuencias metaígneas y metasedimentarias, pero también existen grandes cuerpos ígneos, metaígneos y formaciones sedimentarias, principalmente cuaternarias; esta variedad litológica se traduce como diferentes composiciones de material arcillosos que puede ser usado para diversos fines.

Tener información detallada sobre la ubicación y mineralogía de los cuerpos arcillosos del estado Miranda permitiría solventar varios inconvenientes de diversa índole, ya sea geotécnicos, permitiendo conocer las características de los suelos arcillosos y diagnosticar las posibles consecuencias y soluciones en la ejecución de

obras civiles; o también si se está indagando sobre materiales arcillosos para uso industrial y económico.

Se han realizado estudios y trabajos de caracterización en estos cuerpos arcillosos, pero de manera aislada y con fines sumamente diferentes; ninguno de estos se ha encargado de compilar y agrupar toda esta información, lo que conlleva a que no se conozca con certeza el alcance de conocimiento de los cuerpos arcillosos del estado Miranda. Por lo tanto, es indispensable la recopilación y organización de esta información para poder generar un compendio de localizaciones de arcillas en un solo trabajo facilitando así la investigación futura referente a este tema.

I.4 OBJETIVO GENERAL

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

I.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una recopilación bibliográfica de diferentes artículos, trabajos académicos y estudios sobre la mineralogía de cuerpos arcillosos, así como una compilación de la cartografía existente sobre las arcillas que se encuentran superficialmente en el estado Miranda.
- Hacer una compilación de los análisis mineralógicos por medio de difracción de rayos X en las arcillas del estado Miranda que se puedan conseguir a través de las diversas fuentes bibliográficas, y a su vez efectuar dichos análisis en las muestras que se puedan recolectar mediante empresas privadas, instituciones públicas.
- Generar una base de datos en forma de tablas en la que se reflejen las coordenadas, referencia bibliográfica, mineralogía y posibles usos industriales y comerciales de las arcillas caracterizadas.
- Elaborar un mapa geológico a una escala 1:100000 en el que se representen los cuerpos de arcillas caracterizados en el estado Miranda; y una serie de mapas más detallados a escala 1:25000 donde sea necesario.

I.6 JUSTIFICACIÓN

Venezuela es un país en vías de desarrollo con una población creciente, por lo que la demanda de recursos no hace más que crecer para satisfacer las necesidades de la industria y la población. Por tal motivo, la búsqueda de nuevos yacimientos de minerales metálicos y no metálicos se ha vuelto un tema de mucho interés para las industrias nacionales que los utilizan, en especial si estos se pueden encontrar y extraer cerca de algún centro poblado para facilitar el procesamiento y distribución del material.

La industria minera no metálica se encuentra poco desarrollada por lo que la producción no alcanza para satisfacer la demanda del mercado nacional provocando que otras industrias que utilizan estos materiales como materia prima tengan que importarlos provocando un aumento en los costos de producción.

En el caso de las arcillas, al ser producto de procesos de meteorización y erosión, el clima tropical de Venezuela ha facilitado mucho el desarrollo de grandes acumulaciones de las mismas, y estas se usan en diversas industrias, pero no se extraen y cada vez son más requeridas por lo que conocer la ubicación de los yacimientos y la mineralogía de estos cuerpos arcillosos se convierte en un bien muy preciado.

Generar una base de datos confiable de la ubicación, extensión geográfica y caracterización mineralógica de cuerpos arcillosos sería de gran utilidad económica y académica ya que se puede delimitar las zonas de aprovechamiento de estos recursos, y se proporciona información geológica de los minerales explotables con su potencial uso, y, además esto también puede generar un gran desarrollo económico local e incluso regional.

Este trabajo también pretende formar parte de un proyecto mayor denominado “Atlas de depósitos de arcilla en Venezuela” el cual tiene por objetivo la caracterización y generación de una base de datos bibliográfica y cartográfica de todos los cuerpos de arcillas a nivel Nacional.

I.7 ALCANCES

El enfoque que tendrá el trabajo es realizar un mapa geológico y elaborar una base de datos en el que se muestren los distintos cuerpos de arcillas ubicados en el estado Miranda y con su respectiva caracterización mineralógica y posibles usos en diversos campos industriales y comerciales.

Tanto el mapa geológico como la base de datos permitirá realizar planes de exploración y explotación de los cuerpos arcillosos a las empresas privadas, mientras que el estado puede otorgar concesiones e incluso programar obras públicas. Para las comunidades cercanas a los cuerpos arcillosos también puede representar una gran ventaja disponer del mapa y la base de datos ya que puede estimular actividades comerciales como la minería artesanal que ayuden en la economía local.

Es importante aclarar que los municipios Chacao, Sucre, Baruta y El Hatillo no se tomarán en cuenta ya que serán abarcados en el trabajo correspondiente al Área Metropolitana de Caracas llevado a cabo por Salas, J 2021, que posteriormente será integrado con este y el resto de trabajos que pertenecen al proyecto del “Atlas de depósitos de arcilla en Venezuela”.

I.8 ANTECEDENTES

I.8.1 Casos Nacionales

INVESTI (1963) realiza un estudio a nivel nacional con el cual pretendía recabar información acerca de las arcillas de uso industrial que existen en el país. El proyecto se llevó a cabo recolectando diversas muestras de todo el país y evaluando su mineralogía, para que finalmente se comparen y se plasme la información en un mapa que muestre la ubicación de estos cuerpos arcillosos a nivel nacional.

Guevara & López (2012) analizaron distintas muestras de arcillas en diversas partes de país incluyendo dos sectores en el estado Miranda, que son Charallave – Ocumare del Tuy y Charallave – Santa Teresa. Estos autores determinaron la mineralogía de las muestras a través de difracción de rayos X, así como la expansividad

y dispersividad de las mismas. Mineralógicamente en los sectores de Miranda reportaron illita (58%), esmectita (28%), mientras que la caolinita y clorita están también presentes, pero en muy bajos porcentajes.

Lara (2014) estudió la mineralogía de la fracción de lodo (limo/arcilla) de los sedimentos de la cuenca del Río Tuy, estado Miranda. Para conocer la composición mineral de las muestras, se utilizó el método de difracción de Rayos X. Los resultados mineralógicos fueron muy similares en la totalidad de las muestras analizadas. La fracción limo está constituida principalmente por: cuarzo, albita, illita, caolinita, montmorillonita y calcita. En la fracción arcilla también fueron detectadas las mismas fases minerales, exceptuando la calcita y la goethita.

Scremin (2019) realiza un estudio de caracterización mineralógica y parámetros geotécnicos en arcillas expansivas de Ocumare del Tuy, estado Miranda, con la finalidad de identificar la presencia de montmorillonitas en la zona y valorar la posibilidad de tratar dichas arcillas para que puedan ser utilizadas en el campo de la ingeniería para sostenimiento de tierras, en forma de lodo bentonítico. Uno de los análisis usados para la caracterización de las muestras fue la difracción de rayos X para identificar los minerales presentes, los cuales son: montmorillonita 34.5%, cuarzo 16.9%, caolinita 15%, albita 12.7%, nontronita 10%, goethita 7.3% y calcita 3.6%. Por último, se concluyó que a pesar de que existe una activación importante de la fracción coloidal, alcanzado valores similares a los obtenidos para las bentonitas analizadas, el sedimento total está compuesto por un porcentaje de material inerte (no expansivo), incapaz de absorber la cantidad de agua que se requiere para lograr un máximo nivel de expansión en las arcillas resultantes.

I.8.2 Casos Internacionales

Ayala, Ferrer, Oteo & Salinas (1984) como miembros del Instituto Geológico y Minero de España y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas cartografiaron todos los cuerpos de arcillas de España con el fin de realizar un mapa previsor de riesgos por expansividad de arcillas en el país a escala 1:1.000.000. En este

mapa se presentan hasta cuatro grados de riesgos de expansividad presumible en las formaciones de arcillas.

Carriazo, Molina & Moreno (2004) caracterizan a través de difracción de rayos X dos muestras de arcillas colombianas procedentes de departamento de Córdoba. Los resultados que obtuvieron muestran que una arcilla era esmectita mientras que la otra se trataba de vermiculita, además de esto pudieron concluir que su origen fue por la meteorización de minerales micáceos.

Zeballos *et al* (2014) utilizaron el método de difracción de rayos X con unas muestras de arcillas de la región de Chulucanas, al norte de Perú. Este estudio formo parte de una investigación estructural de las arcillas en esa zona. Los componentes de las muestras fueron determinados, identificándose montmorillonita-Ca, vermiculita, muscovita, caolinita, chlorita, illita, cuarzo y albita.

CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO

El trabajo se realizó en cuatro etapas estructuradas y concatenadas para el óptimo cumplimiento del objetivo. A continuación, se observa un diagrama de cómo están estructuradas y organizadas cada una de las etapas, seguido de una explicación detallada de cada una.

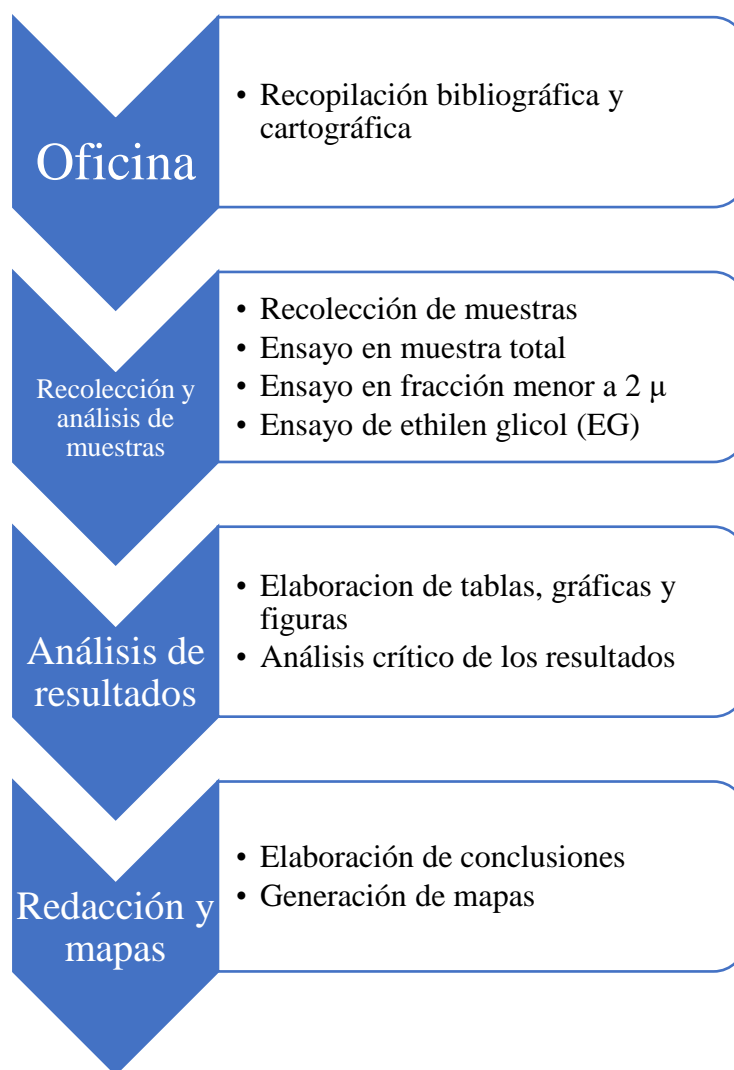


Figura #2.1. Esquema metodológico.

II.1 ETAPA DE OFICINA

Esta primera etapa consistió en la búsqueda, organización y revisión de información bibliográfica de diversa índole relacionada con el tema a tratar; esta fue recabada en trabajos de grado, informes científicos o académicos, y hasta estudios técnicos independientes que tratan sobre el análisis mineralógico y la ubicación de cuerpos de arcillas en el estado Miranda. Todas las investigaciones e informes recabados fueron sometidos a un análisis para evaluar la calidad de información que ofrecen y así se determinaron las áreas que debieron ser sometidas a muestreo, ya sea porque el conocimiento es deficiente, insuficiente o directamente se carece de este.

También se recopilaron datos cartográficos, ya sea de índole topográficos o geológicos regionales y locales, para posteriormente plasmar la información recolectada.

II.2 ETAPA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Ya con la ubicación de las zonas donde se encuentran los cuerpos de arcillas en el estado Miranda se procedió a contactar a diversas instituciones y/o empresas con acceso a dichas muestras o que hayan realizado ensayos de difracción de rayos X y cuenten con los resultados de los mismos en las zonas donde se determinó que es necesario realizar análisis.

En el apéndice titulado “Métodos de Difracción de Rayos X” se explica de manera detallada los pasos necesarios para preparar y ensayar las muestras a través de difracción de rayos X.

II.2.1 Obtención de resultados

Los resultados obtenidos en el difractómetro de rayos X son una serie de picos los cuales son comparados con tablas y bases de datos ya establecidas como por ejemplo las tablas del Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) que se usa para el reconocimiento de minerales en rocas. El mismo caso ocurre con el análisis de la fracción fina, ya que con estos se mide el plano basal 001.

En el caso de los resultados obtenidos por el método de etilen glicol se utiliza el llamado índice de Srodon o de relación de illita.

II.2.1.1 Índice de Srodon o relación de illita (SRODON, 1984)

Este índice básicamente se usa para determinar el tipo de mineral illita que hay en una muestra. Es muy sensible a la presencia de este mineral, si $I_r > 1$ entonces el mineral illita tiene expansividad en algún grado y se trata de intercalaciones de illita/esmectita, si por el contrario $I_r < 1$ el mineral no tiene expansividad y el mineral se considera illita pura, cosa que casi no ocurre en la naturaleza. La ecuación del índice de Srodon se calcula usando los ensayos en muestra natural total y glicolado; de manera que se pueda efectuar la siguiente relación entre las intensidades de los picos como se observa en la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de Srodon: } I_r = [I_{(001)}/I_{(003)}]_{\text{aire}} / [I_{(001)}/I_{(003)}]_{\text{glicolado}}$$

II.3 ETAPA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta etapa se analizaron los resultados obtenidos en la etapa anterior comenzando con la determinación de la mineralogía de las muestras, para esto se compararon los picos obtenidos en el difractómetro con las bases de datos existentes. Estos resultados deben ser expresados en el trabajo a través de tablas y figuras que permiten una mejor visualización y comprensión. En resumen, esta etapa puede expresarse a través de los siguientes puntos.

- Elaboración de tablas, figuras y gráficos donde se muestre la información obtenida.
- Análisis crítico de todos estos resultados para generar una serie de conclusiones que den respuesta a los objetivos planteados.

II.4 ETAPA DE REDACCIÓN Y GENERACIÓN DE MAPAS

Finalmente, en esta etapa se redactaron tanto los análisis realizados en la etapa pasada, como las conclusiones a las que se logró llegar. Además de esto, se elaboraron

mapas geológicos con temática de los cuerpos arcillosos que se encuentran en el estado incluyendo sus características, mineralogía y posibles usos.

Los mapas se realizaron utilizando *softwares* conocidos como SIG (Sistema de Información Geográfica) o GIS por sus siglas en inglés, entre estos se destacan ArcGIS o QGIS el cual es de código abierto. Estos *softwares*, entre muchas funciones permiten la vectorización de mapas cartográficos digitales, así como la georeferenciación de los mismos, y, además los programas permiten añadir información de diversa índole, en este caso, geológica, para derivar entonces, una serie de mapas que muestren los puntos de recolección de muestras de arcilla que se encuentran en el estado Miranda.

El proceso de vectorización de imágenes consiste en transformar los píxeles que conforman una imagen en valores vectoriales, esto permite una mayor nitidez de las imágenes, así como un mejor manejo para su edición; además, los vectores tienen la ventaja que llevan asociados una tabla de atributos que permite añadirles información de diversa índole, así un vector no sólo sirve para hacer visibles las características de un mapa, sino que además pueden almacenar datos. Los vectores se pueden presentar como puntos, líneas, polígonos o combinaciones de estos. Los datos que puede acarrearse un vector dependen del usuario que lo diseñe, así se puede usar una línea vectorial como representación de una curva de nivel con cota asociada como un valor entero, y un polígono vectorial como una traza con la información geológica relacionada a la misma. En este sentido, los programas SIG cuentan con una serie de herramientas que permiten generar vectores y añadirles datos a su tabla de atributos. Otra ventaja que proporciona esto, es que cada vector es georeferenciado por lo que posee coordenadas por lo que también se comportarían como datos cartográficos.

Por último, la base de datos se hizo asociando la información obtenida en los resultados, y colocándola en el *software* Microsoft Excel en forma de *dashboard* de manera que la información se muestra de manera dinámica e interactiva facilitando así su uso.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

III.1 BASES CONCEPTUALES

A continuación, se presentan una serie de definiciones sobre conceptos básicos para este trabajo ya que serán empleados con regularidad y conocer el uso y significado de cada uno es necesario para entender el presente trabajo.

III.1.1. Arcilla

Desde un punto de vista geológico, García, E & Suarez, M. (2003) definen varios usos para el término “Arcilla”, algunas son:

- Mineralógico: Grupo de minerales, principalmente filosilicatos que poseen un tamaño de grano menor a 2 μm
- Petrológico: Roca sedimentaria, en su mayoría detrítica de tamaño de grano muy fino
- Sedimentológico: Término granulométrico correspondiente a sedimentos de tamaño menor a 2 μm

Existen otros usos del mismo término en diversas áreas, como, por ejemplo, en la cerámica en la que una arcilla es un material de origen natural el cual al mezclarse con agua en cantidades adecuadas se transforma en una masa plástica que sirve para moldear y formar objetos. Desde un punto de vista económico, las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas, y diversos usos tecnológicos.

III.1.2. Filosilicatos

Ya que los filosilicatos comprenden una gran porción de los minerales de arcilla, es importante comprender su estructura ya que de esta derivan muchas de sus propiedades.

Dana (1960) define los filosilicatos como minerales cuya unidad fundamental es una hoja de extensión indefinida de tetraedros de silicio-oxígeno en la que tres de cada cuatro oxígenos del tetraedro están compartidos con sus vecinos resultando en una relación Si:O = 2:5, los oxígenos que no son compartidos se llaman oxígenos apicales. La mayoría de los filosilicatos contienen hidróxilos que pueden estar coordinados con de dos maneras por lo que se pueden clasificar a los filosilicatos dentro de alguna de estas. Los iones de hidróxilo se agrupan en forma octaédrica con un catión en el centro de esta, y estos últimos pueden ser de Mg^{+2} formando la estructura de brucita $Mg_3(OH)_6$ o Al^{+3} formando la estructura de gibbsita $Al_2(OH)_6$. En las capas de brucita todos los huecos octaédricos suelen estar rellenos formando hojas llamadas trioctaédricas, mientras que por la mayor carga del Al^{+3} en las capas de gibbsita, solo pueden entrar a la estructura octaédrica dos tercios de iones de aluminio quedando un tercio vacío, estas hojas son llamadas dioctaédricas. Las hojas tetraédricas de Si_2O_5 se les llama hojas “t”, mientras que las octaédricas de brucita y gibbsita se llaman hojas “o”; si un oxígeno apical entra en la estructura de un octaedro sustituyendo un ion hidróxilo se mantendría una estructura eléctricamente neutra que se llama lámina, de este modo la unión de estas hojas octaédricas y tetraédricas genera una lámina t-o denominada bilaminar. De modo análogo, pueden derivarse formas más complejas si se une una hoja “t” invertida dando como resultado una lámina triple t-o-t denominada trilaminar.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los filosilicatos según su estructura.

Tabla #3.1. Clasificación de los filosilicatos. Modificado de García, E & Suarez, M. (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	

III.1.3. Propiedades de las arcillas

Las aplicaciones que se les dan a las arcillas en el ámbito industrial radican de sus propiedades, las cuales están relacionadas con su estructura. García, E & Suarez, M. (2003) expresan que las principales propiedades físico-químicas de las arcillas son:

- Su pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm).
- Su hábito laminar (filosilicatos).

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

III.1.4. Arcillas industriales

Si bien existe la clasificación mineralógica de los minerales de arcilla (Filosilicatos), en el ámbito comercial estas se agrupan según el uso que se les da. García, E & Suarez, M. (2003) argumentan que el 90% de las arcillas explotadas se destinan a la elaboración de materiales de construcción y agregados; estas se conocen como arcillas cerámicas o arcillas comunes y están compuestas principalmente por illita y esmectita junto a otros minerales no filosilicatos como cuarzo. El 10% restante se utiliza en diversas industrias y se conocen como arcillas especiales.

Las arcillas especiales están compuestas principalmente por un solo tipo de mineral de arcilla. A pesar de ser más escasas, éstas representan el 70% de las arcillas comerciales. Dentro de estas se encuentran grupos como las caolinitas, las bentonitas, las paligroskitas-sepiolitas, etc.

III.1.5. Usos de las arcillas industriales

García, E & Suarez, M. (2003) explican algunos usos de las arcillas industriales según su clasificación comercial.

- **Arcillas comunes:** Se usan en la elaboración de cerámicas, ladrillos, lozas, y demás elementos cerámicos de construcción. También sirven como fuente de alúmina y sílice para cementos.
- **Caolín:** Su principal uso es en la fabricación de papel, pero también es muy importante en la elaboración de cerámicas refractarias. Otros usos incluyen la industria química para fabricación de sulfatos, y la industria farmacéutica como elemento inerte en cosméticos.
- **Bentonitas:** Las bentonitas son muy importantes y tienen diversos usos, algunos de los más importantes son arenas de moldeo, lodos de perforación,

absorbentes, elaboración de lechadas para construcción, detergentes, pinturas, agricultura, etc.

- **Paligroskitas-Sepiolitas:** Se usa como absorbentes, fertilizantes, aerosoles, cerámicas y aislantes.

III.1.6. Rayos X

Scremin, L (2019) define a los rayos X como ondas electromagnéticas del mismo tipo de la luz visible, pero con una longitud de onda menor por lo tanto son más energéticos.

Para generar rayos X se utiliza el tubo de Coolidge el cual tiene dos electrodos, uno como cátodo (fuente de electrones) y otro como ánodo. Al aplicarle voltaje, los electrones del cátodo se liberan e impactan contra el ánodo, y ese choque libera energía en forma de rayos X.

III.1.7. Difracción de Rayos X

Según el Servicio Geológico Mexicano (SGM) la difracción de rayos X es un método que permite identificar minerales ya que estos poseen estructuras cristalinas definidas, es decir, que poseen una distribución regular entre los componentes de sus redes cristalinas.

Scremin, L (2019) menciona que cuando un haz de rayos X choca con un átomo en un cristal, este irradia una serie de ondas electromagnéticas que tienen la misma frecuencia y longitud de onda que el haz incidente. El ángulo con el cual es difractado el rayo X cumple la Ley de Bragg definida de la siguiente manera

$$n\lambda = 2d \cdot \sin(\theta)$$

λ = Longitud de Onda

d = Espaciamiento entre planos del cristal

θ = Ángulo de incidencia

Por lo tanto, conociendo la longitud de la onda y su ángulo incidente es posible determinar el espaciamiento entre los planos de un cristal y con esto se puede establecer su geometría.

El resultado de esta prueba es un difractograma, que se entiende como una serie de curvas y picos que son únicos para cada mineral, y de esta manera se pueden identificar 4000 especies diferentes.

III.1.8. Base de datos

El diccionario de la Real Academia Española (RAE) define “base de datos” como un conjunto de datos organizados de tal modo que permita obtener con rapidez diversos tipos de datos. Por lo tanto, para este trabajo el concepto de base de datos que se usará será el conjunto de datos recolectados y analizados, agrupados sistemáticamente en base a su ubicación geográfica, características geológicas y diversos usos.

III.2 MARCO GEOLÓGICO

III.2.1 Generalidades

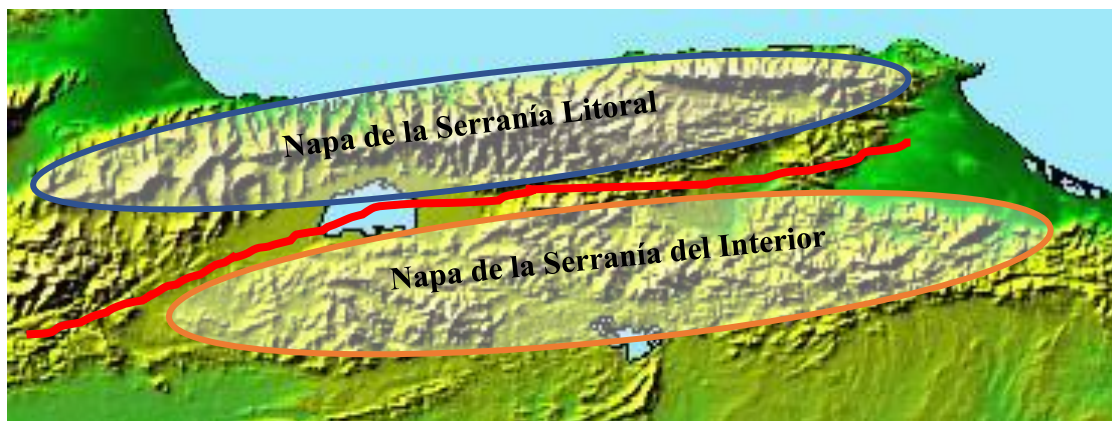
La zona norcentral de Venezuela se caracteriza por presentar una larga cadena montañosa que se extiende por 350 km de largo en dirección este a oeste y 80 km de norte a sur. Esta se denomina el Sistema Montañoso del Caribe. El contraste topográfico que genera esta cordillera con el resto del relieve costero venezolano induce a pensar que tuvo que existir un evento de índole tectónico para generar tan prominente geografía. Diversos estudios a lo largo de los años sobre la geología de esta cadena montañosa han llegado siempre a la conclusión que la Cordillera del Caribe está compuesta por multitud de unidades alóctonas que en algún momento fueron emplazadas por eventos transpresivos a raíz de la colisión oblicua de la placa Suramericana con la placa del Caribe.

La primera nomenclatura de las unidades geológicas de la Cordillera fue realizada por Aguerrevere & Zuloaga entre los años 1937 y 1938 que definieron los nombres formales de la parte central de esta, muchos de los nombres que definieron se usan hoy en día utilizando las normas de la NACSN (Urbani, 2012).

A lo largo de los años, muchos grandes geocientíficos han estudiado, descrito, y dividido la cordillera con base a su ubicación, geografía, geología, etc, entre algunos destacados se encuentra Menéndez (1966) que divide la zona en cuatro grandes fajas que nombró Cordillera de la Costa, Caucaqua – El Tinaco, Paracotos y Villa de Cura; esta nomenclatura sembraría la base de los nombres que se usan hoy en día. Posteriormente, Beck (1985) como parte de un convenio entre el Ministerio de Minas e Hidrocarburos (MMH) con universidades francesas, introduce la distinción entre las napas de la Serranía del Interior, que quedarían como napas de Caucaqua – El Tinaco, napa de Villa de Cura y napa de Loma de Hierro; en esta última reconoce a las Fillitas de la antes llamada “Formación Paracotos” como la cobertura sedimentaria de la suite ofiolítica de Loma de Hierro (Urbani, 2012).

A raíz de la tragedia de Vargas del año 1999, la Universidad Central de Venezuela junto con FUNVISIS se dedica a integrar la información geológica y mapas a escala 1:25000 de la Cordillera de la Costa (Urbani, 2012), generando así un compendio de 146 hojas que culminó con la publicación del “Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa” (Urbani & Rodríguez, 2004)

En este atlas, los autores dividieron a la cordillera del norte de país en dos grandes napas tectónicas, basándose principalmente en su ubicación y a partir de trabajos previos, estas fueron llamadas Napa de la Serranía Litoral y Napa de la Serranía del Interior como se observa en la figura 3.1.



Figura#3.1. Imagen esquemática (sin escala) de la Cordillera de la Costa, con la separación de las unidades de las Napas de la Serranía del Interior al sur y la Serranía del Litoral al norte. Modificado de Urbani & Rogríguez (2004)

A su vez, subdividieron estas dos grandes napas en otras de menor tamaño a partir de diferentes características como trabajos previos, la ubicación, el tipo litológico, el grado de metamorfismo, etc. Estas características se eligieron para agrupar los diferentes tipos litológicos que se encuentran en esta región a partir del proceso que los colocó en su posición actual; ya que estas rocas, y a mayor escala, estas napas fueron emplazadas en la corteza continental por procesos tectónicos relacionados con el movimiento de la placa del Caribe.

Urbani & Rodríguez (2004), en el Atlas geológico de la Cordillera de la Costa dividieron las napas siguiente manera.

1. Napas de la Serranía del Litoral

1.1. Napa Costera

1.2. Napa Ávila

1.3. Napa Caracas

2. Napas de la Serranía del Interior (antes denominadas “Napas de Aragua” por Beck 1986)

2.1. Napa Caucagua-El Tinaco

2.2. Napa Loma de Hierro (Beck 1986 incluye a Paracotos en esta Napa)

2.3. Napa Villa de Cura

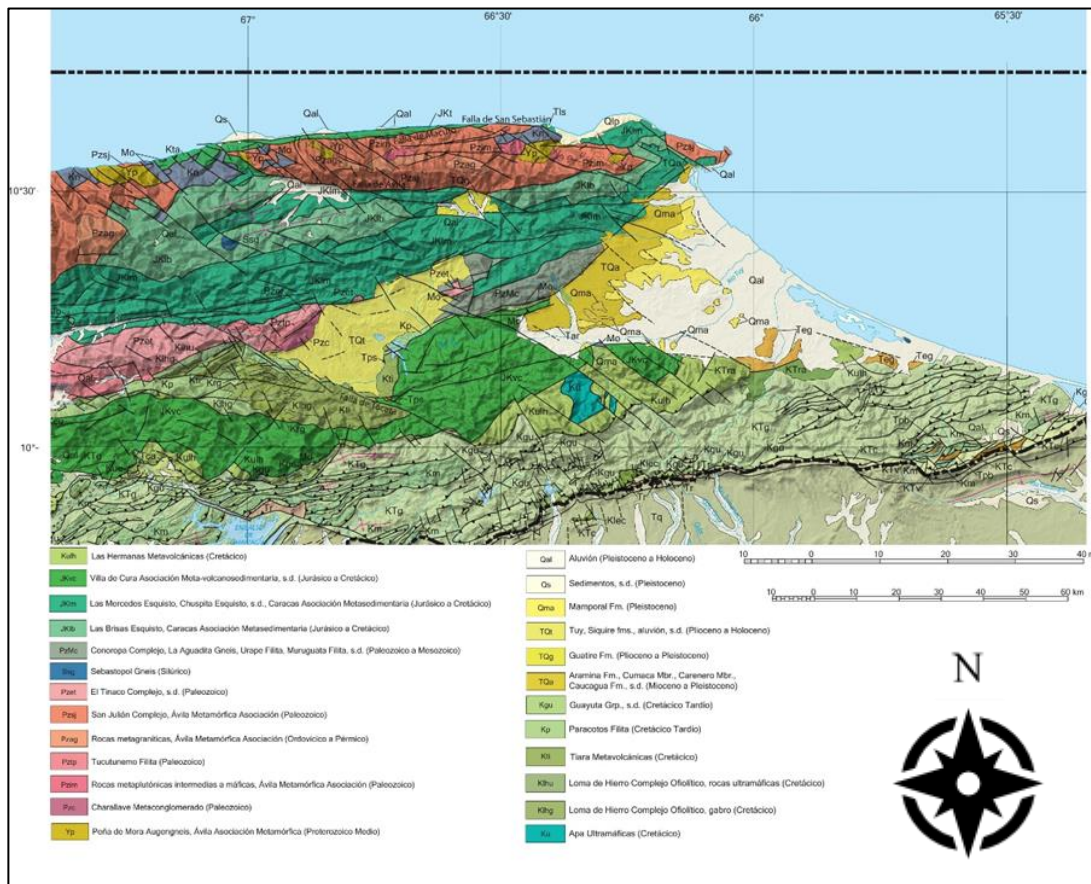
Cada napa está dividida a su vez en diversas unidades de roca estudiadas por varios autores. Como se observa en la figura 3.2, las napas se disponen en modo pseudoparalelo con una orientación casi este - oeste.

El estudio de la geología regional se realizará basándose principalmente en el trabajo de cartografía geológica de Urbani & Rodríguez (2004), así como su nomenclatura para definir las unidades litológicas que integran las napas de la Cordillera, sin embargo, la descripción litológica se hará basándose en la información disponible de diversos trabajos y autores.

III.2.2 Litología

El estado Miranda presenta una litología sumamente variada; se pueden encontrar rocas metamórficas, metaígneas y algunas metasedimentarias; existen también cuerpos sedimentarios en pequeñas cuencas (como la de Guarenas – Guatire, o la cuenca del Tuy), principalmente del Plioceno y Cuaternario, dando a entender que son muy jóvenes y se formaron por la erosión de las rocas ya emplazadas.

A continuación, se hará una descripción de las diferentes litologías que se encuentran en el estado Miranda, del sur al norte de la región.



Figura#3.2. Mapa geológico de la zona del estado Miranda. Modificado de Paul C. Hackley, Franco Urbani, Alex W. Karlsen, y Christopher P. Garrity.

III.2.2.1 Napa de Villa de Cura

Es la unidad que se encuentra más al sur. Esta napa se caracteriza por estar conformada por unidades litológicas metaígneas datadas del Mesozoico y que por su ubicación y características estructurales servirían como basamento de secuencias sedimentarias que se encuentran al sur como el Grupo Guayuta del Cretácico Superior o el flysch de la Formación Guárico (Ostos, 1990).

En el estado Miranda el atlas de Urbani & Rodríguez (2004) establece principalmente asociaciones metavolcánicas y metasedimentarias como las Metatobas del El Chino o las Metatobas de El Caño, ambas datadas del Mesozoico, ubicadas al sur de la napa y que Piburn (1968) describe como metatobas máficas que se diferencian

porque las segundas se encuentran intercaladas con fillitas y poseen más cuarzo mientras que las primeras se presentan con más clinopiroxenos, además, otra característica que las diferencia es el grado de metamorfismo alcanzado ya que si bien ambas pertenecen al grupo de bajo grado, en las metatobas de El Chino predomina la facies lawsonita – albita mientras que en El Caño pertenece a la zona de pumpellita – actinolita. Al norte de estas metatobas se encuentra el granofel de Santa Isabel (Mesozoico) descritos por Shagam (1960) como una unidad de rocas cuarzo albíticas, esquistos cloríticos, metaftanitas, metalavas y tobas, y metadioritas.

En la parte central del estado se encuentra un grupo de rocas que pertenece a la Asociación Metaígneas de San Sebastian que consiste en rocas metaígneas principalmente máficas y ultramáficas, que se encuentran en contacto por falla con la napa de Loma de Hierro. En el estado Miranda la unidad más importante de esta asociación en base a su extensión serían las rocas Ultramáficas de Apa (Cretácico) descritas por Urbani (1991) quien señala que se encuentran una gran variedad de rocas entre las cuales destacan dunitas, wehrlitas, clinopiroxenitas - oliviníferas y clinopiroxenitas. Debido a la dificultad de acceso en esta zona selvática, no se conoce claramente la distribución de litologías y sus relaciones mutuas dentro del Complejo, pero en forma global se observa una variación progresiva de NW a SE.

Alrededor de las rocas Ultramáficas de Apa, especialmente al sur se encuentran las Metalavas de Las Hermanas (Cretácico) descritas por Navarro (1983) como lavas almohadilladas y metamorfizadas. Urbani (1991) destaca que por la ubicación de las ultramáficas de Apa en torno a las Metalavas de Las Hermanas y a su relación litológica, estos cuerpos pueden clasificarse como un complejo Ultramáfico zonado tipo Alaska, y por lo tanto pudo formarse como cumulos en las raíces de un arco volcánico.

III.2.2.2 Napa de Loma de Hierro

Esta napa se caracteriza por presentar litología principalmente máfica y ultramáfica. En Miranda también se encuentra la Fillita de Paracotos como parte de la

napa de Loma de Hierro. Hacia el este ésta napa se encuentra en contacto con la napa de Villa de Cura a través de la falla de Tácata.

Quizás la unidad más relevante de esta napa sea el complejo peridotita – gabro conocido como Ultramáficas de Loma de Níquel (Urbani & Rodríguez, 2004) datadas del Cretácico y que Graterol (1972) describe como compuesto de peridotita serpentinizada, troctolita y gabro asociado a basalto. Los bordes del bloque se encuentran fuertemente serpentinizados; al norte se encuentran rocas intermedias entre peridotitas y gabros, como troctolita y gabros oliviníferos muy serpentinizados. La peridotita es principalmente una harzburgita de grano grueso con olivino y enstatita de color negro a verdoso de acuerdo al grado de serpentización. Asociado a este cuerpo, Urbani & Rodríguez (2004) colocan el Gabro de Mesia (Cretácico) que nuevamente Graterol (1972) describe como un gabro en forma de dique en el borde norte, y al sur se presenta de forma masiva, cerca de las metalavas de Tiara. También señala que presenta una mineralogía típica de rocas graboides con clinopiroxeno y plagioclasa cálcica. A su vez se destaca que el contacto entre el gabro y las Metalavas de Tiara (Albiense – Cenomaniense) es reconocido tanto de naturaleza estratigráfica como a través de fallas de alto ángulo. Smith (1952) describe las Metalavas de Tiara como una unidad conformada por basaltos y rocas graboides, a veces con cristales de piroxeno y plagioclasa con textura ofítica, en ocasiones los piroxenos se encuentran alterados y recristalizados a hornblenda o clorita.

En el estado Miranda también se encuentran asociadas a esta napa según diversos autores como Beck (1985) y en el Atlas de Urbani & Rodríguez (2004) a las Fillitas de Paracotos (Maastrichtiense) conformadas por asociaciones de fillitas, mármoles, metaconglomerados y en menor proporción metalimolitas y metareniscas (Shagam, 1960).

Beck (1980) utiliza el nombre de “Napa Ofiolítica de Loma de Hierro” en la cual las rocas ultramáficas y volcánicas representarían una porción del piso oceánico y las fillitas de Paracotos se consideran la cobertura sedimentaria.

III.2.2.3 Napa Caucagua – El Tinaco

Esta unidad se encuentra dividida entre los estados Cojedes y Miranda, se trata de una agrupación de rocas principalmente Paleozoicas y Mesozoicas tempranas limitadas por fallas al norte y sur que ponen en contacto con las napas de Caracas y Loma de Hierro respectivamente.

Caldevilla (2006) establece que en esta napa se encuentran dos grupos litológicos diferenciados por el grado de metamorfismo. Un primer grupo que presenta un alto grado llegando a facies de anfibolita almandínica y granulitas; y un segundo grupo de bajo grado de metamorfismo con minerales en la facies del esquisto verde.

Entre las rocas paleozoicas que el atlas de Urbani & Rodríguez (2004) incluye dentro de esta napa se encuentran los Metaconglomerados de Charallave; que Beck (1985) describe como un metaconglomerado esquistoso con guijarros de cuarzo ahumado, cementados por cuarcita blanca. Existen zonas donde se encuentra que la unidad está constituida por una serie de esquisto muy alterado, intercalado con niveles delgados de fillita cuarcífera con micas blancas, niveles de cuarcita y capas o lentes de uno a varios metros de espesor de metaconglomerado. Otra unidad metasedimentaria perteneciente a esta napa y que se encuentra aflorando en el estado Miranda es la Fillita de Tucutunemo (Paleozoico Tardío); según Shagam (1960) la unidad consiste principalmente en fillitas carbonáceas que pasan a metareniscas y limolitas cuarzo feldespáticas, con algunas metalavas conocidas como las Metalavas de los Naranjos; encontrándose cantidades menores de areniscas de grano grueso y conglomerados. Los contactos de estas unidades con la Napa de Loma de Hierro son de falla, prácticamente en su totalidad, incluyendo corrimientos. Mientras que con otras unidades de la Napa de Caucagua – Tinaco los contactos son tectónicos.

Otras unidades de esta napa que se encuentran en el estado Miranda son el Gneis Tonalítico de Curiepe (Mesozoico) descrito por Beck (1985) como una unidad compuesta por una serie de filones de 50 cm de espesor concordantes con los esquistos adyacentes y compuestos por un 30% de minerales ferromagnesianos alterados.

El Genis de la Aguadita (Mesozoico) descrito por Menéndez (1965) en la sección de El Tinaco como una alternancia de rocas félsicas y máficas de 5 cm a 30 cm de espesor promedio por capa; esta unidad pertenece al Grupo metavolcánico llamado Metadiorita de La Guacamaya en Cojedes, sin embargo, ha sido identificado en la parte central del estado Miranda a más de 200 km de El Tinaco como afirma Seiders (1965), quien lo describe como diorita hornblendica y metatrandjemitas que es un equivalente al gneis descrito por Menéndez.

Todas estas unidades, sobre todo las dos últimas se encuentran parcialmente cubiertas por las Capas de la Qba. Onoto (Cretácico) formadas por rocas pelíticas y pelíticas carbonáticas finamente esquistosas Beck (1985) que alcanzan hasta 250 m de espesor y presentan un metamorfismo de muy bajo grado.

III.2.2.4 Napa de Caracas

Esta napa abarca toda la franja central del estado Miranda, y comprende unidades metamórficas que van desde el Paleozoico con el Gneis de Sebastopol hasta el Cretácico en la cual se encuentra la Asociación Metasedimentaria Caracas que se compone principalmente de esquistos cuarzosos y clasificándose por su contenido de carbonato, grafito, mica y feldespato. Al norte se encuentra en contacto de falla la napa de Ávila.

El Gneis de Sebastopol (Paleozoico) se encuentra en la parte central de la napa y se reconoce por grandes porfidoblastos de microclino con tendencia a formar "augen", así como un color blanquecino característico de los feldespatos y cuarzo (Wehrmann, 1972).

La Asociación Metasedimentaria de Caracas engloba tres cuerpos esquistosos que se conocen como Esquisto de Chuspita, Esquisto de Las Mercedes y Esquisto de Las Brisas. La diferencia entre estos radica en su ubicación y su mineralogía.

Wehrmann (1972) describe la mineralogía del Esquisto de Las Brisas (Jurásico Tardío) como constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el

10% restante lo constituye, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados.

El Esquisto de Las Mercedes (Jurásico – Cretácico), según González de Juana *et al* (1980) presenta una mineralogía predominante de cuarzo, muscovita, calcita y grafito con intercalaciones de mármol grafitico en forma de lentes. Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. Smith (1952) considera al Mármol de Antímano como parte secundaria del Esquisto de Las Mercedes.

Seiders (1965) diferencia el Esquisto de Chuspita (Cretácico Temprano) ya que dice que la unidad consiste de metareniscas puras, las cuales constituyen el 45% de la unidad, con fillitas oscuras (50%) y mármoles (5%).

III.2.2.5 Napa Ávila

En esta unidad se encuentran unidades litológicas caracterizadas por estar entre las más antiguas del norte de Venezuela, además de formar las cordilleras que se encuentran limitando con la costa. Las rocas de esta napa tienen edades que van desde el Mesoproterozoico hasta el Paleozoico Temprano. Predominan las rocas metamórficas de naturaleza félsica.

La más antigua de este grupo sería el Augengneis de Peña de Mora datado del Mesoproterozoico, que Ostos (1990) describió como cuerpos graníticos metamorfizados que han sufrido diferentes grados de deformación. La mineralogía promedio comprende cuarzo en su mayoría, seguido de plagioclasa, microclino, muscovita, epidoto, y cantidades menores de biotita, clorita, etc. En la zona central de la napa se encuentra la unidad denominada como Metaígneas de Tócome (Precámbrico – Paleozoico) que Según García *et al* (1995) se compone principalmente de cuatro tipos litológicos que son metagabro de grano fino, metagabro foliado, metatonalita y metagabro de grano medio.

La unidad más extensa de esta napa se conoce como el Esquisto de San Julián (Paleozoico). Urbani y Ostos (1989) señalan que esta unidad está compuesta

principalmente por esquistos y gneis cuarzo - plagioclásico – micáceo. Se nota la gradación desde textura esquistosa hasta la granulometría más gruesa que pasa a rocas de carácter gnéisico incluyendo esquistos barroisítico-epidótico, anfibolitas barroisíticas y cuerpos dispersos de mármol tremolítico y cuarcita algo micácea.

III.2.2.6 Napa Costera

En Miranda el principal representante de la napa costera sería el Complejo Metaígneo de Cabo Codera ubicándose al noreste del estado. Este se encuentra en contacto de falla con el Esquisto de San Julian.

García (1977) en la unidad de Caco Codera señala una asociación de anfibolita, anfibolita granatífera, anfibolitita, metatonalita y metagranodiorita. La anfibolita presenta color verde oscuro, meteorizan a tonos verdosos y marrón verdoso oscuro, y con foliación de moderada a ausente, generalmente aparece como xenolitos dentro de rocas más félsicas. La anfibolita granatífera se diferencia de la anfibolita, por sus tintes rojizos debido a la abundante presencia de granate que llegan hasta a 1 cm de diámetro. La anfibolitita (fundamentalmente una hornblendita) es de grano grueso, verde oscuro y meteoriza a tonos verdosos, presenta cristales de hasta 2 cm de diámetro. La metagranodiorita es la roca félsica más abundante, masiva, de colores de gris verdoso a blanco, meteorizando a verde amarillento y blanco pardo, generalmente se observa una foliación incipiente. La tonalita puede gradar a trondhjemitita, es de color claro (blanco a blanco verdoso), que meteoriza a verde amarillento y tonos pardos, tamaño de grano desde grueso a fino, son rocas generalmente de aspecto masivo asociadas a los cuerpos de anfibolita.

Las formaciones sedimentarias son menos abundantes y relativamente jóvenes comparadas con las anteriores, entre las más destacadas por su localización y superficie abarcada se encuentran las siguientes

III.2.2.7 Formación Tuy (Plioceno – Pleistoceno)

Según Picard y Pimentel (1968) la Formación Tuy consiste principalmente en gravas y conglomerados mal consolidados, y arcillas impuras, intercaladas con algunas

arenas y margas. Se caracteriza por las capas de gravas y conglomerados líticos que normalmente tienen espesores de 1 m a 3 m intercaladas con lutitas de espesores menores a 1 m, y cantidades menores de arenas y margas. Las lutitas suelen tener color crema a rosado, y en menor medida verdes, rojas y abigarradas, calcáreas hasta margosas.

III.2.2.8 Formación Caucagua (Plioceno – Pleistoceno)

Patrick & Urbani (inéditos en González de Juana *et al.* 1980.), describieron a la Formación Caucagua, como una secuencia de conglomerados y arcillas de color pardo rojizo, caracterizadas por un 50% de lutitas de color canela a marrón amarillento, gris a rojo, pobremente estratificadas en capa delgadas a masivas, limosas a arenáceas, con guijarros diseminados de cuarzo y fragmentos de rocas metamórficas, y algunas capas ligeramente carbonáceas; un 5% de areniscas rojo oscuro a marrón, marrón amarillento a marrón oscuro, en capas delgada a masivas, irregulares, friables a ligeramente endurecidas, arcillosa a conglomeráticas, a veces carbonáceas; y 25% de conglomerado rojo oscuro a marrón amarillento, con estratificación delgada a masiva lenticular, friable a levemente endurecida, con cantos de cuarzo y rocas metamórficas, en una matriz arcillosa; gradan frecuentemente a arenas.

III.2.2.9 Formación Guatire (Pleistoceno)

Según Picard (1976) la Formación Guatire está compuesta por seis secuencias de conglomerados e intercalaciones de arenas y limos. Las secuencias se inician con un conglomerado grueso polimíctico mal escogido, de unos 5 a 10 m de espesor, generalmente seguido por gravas y arenas progresivamente más finas, hasta limos laminados (González de Juana *et al.* 1980, p 716). Los conglomerados y gravas presentan capas de espesores individuales variables hasta 3 m, en paquetes de hasta 50, que alcanzan un 30% en volumen de la formación, están mal seleccionados, con matriz en el rango de arena fina-arcilla y a veces se encuentran cementados: los colores varían entre amarillo verdoso y amarillo gris, con cierto grado de oxidación por meteorización. Las arenas y limos constituyen alrededor del 26% en volumen de la unidad. Las arenas se presentan en capas de espesores variables de hasta 6 m con

estratificación interna pobre, color gris amarillento a gris verdoso, frecuentemente oxidadas y su composición es de arenas líticas arcósicas, mal escogidas y con asimetría hacia lo fino. Las arcillas de la Formación Guatire, constituyen el 40% del volumen total. Algunas capas sobrepasan los 20 m de espesor, muestran laminación. su composición mineralógica es de caolinita y clorita y su color varía de gris amarillento a gris amarillo moderado. Las calizas están ubicadas en el suroeste de la cuenca y constituyen el 2% del volumen de la formación. Se presentan en capas de 50 cm hasta 2 m, son de colores gris oliva claro a gris amarillento, criptocristalinas, compuestas por calcita micrítica con bioclastos, con fósiles de *Hemisinus* de 2 a 3 mm de longitud.

III.2.2.10 Formación Mamporal (Cuaternario)

Según Patrick (1959) la Formación Mamporal consiste en partes aproximadamente iguales de lentes de arcillas, areniscas y conglomerados ligeramente consolidados y pobremente estratificados. Los colores típicos de la formación son rojizo, amarillo y gris; las arcillas generalmente son moteadas y los sedimentos clásticos gruesos son ferruginosos. Las arcillas son finamente arenosas; las areniscas son de granos angulares y subangulares de tamaño variable, cementados con arcilla; los conglomerados contienen una mezcla heterogénea de fragmentos subangulares a subredondeados, del tamaño de guijas y peñas, de rocas ígneas y metamórficas, areniscas cuarzo y ocasionalmente calizas, en una matriz arcillo-arenosa.

III.2.3 Geología Estructural

Los diversos trabajos sobre la geología estructural de las unidades rocosas del estado Miranda han establecido la presencia de tres estilos estructurales que son los que predominan, estos serían el fallamiento, la foliación y el plegamiento. A continuación, se presentará un resumen de las características de estos.

III.2.3.1 Fallamiento

Según Orta (2003) el principal sistema de fallas que atraviesa la zona de estudio sería el Sistema de Fallas de La Victoria, el cual se encuentra activo, posee solapamiento dextral y está formado por varias trazas dispuestas en échelon. El sistema

de fallas La Victoria se extiende por unos 350 km., desde Tinaquillo (estado Cojedes) hasta cabo Codera (estado Miranda) según un rumbo WSW – ENE, donde converge con el sistema de fallas de San Sebastián en el mar Caribe.

Este sistema de fallas es de poca expresión superficial ya que se encuentra principalmente en valles y planicies en las cuales la tasa de sedimentación es superior al movimiento de la falla.

Según Menéndez (1966) el contacto entre las napas de Caracas y Caucagua – El Tinaco es a través del sistema de fallas de La Victoria, sin embargo, Urbani (2004) considera que este mismo contacto es a través de fallamiento inverso.

Otro sistema de fallas importante en la región es el de Táchata que corresponde a un grupo de fallas que van desde el lago de Valencia (estado Carabobo) hasta la zona de Barlovento (estado Miranda) con una longitud promedio de 90 km, y se evidencia principalmente por facetas triangulares y algunos drenajes desplazados. Este sistema de fallas tiene orientación NW – SE y es de movimiento dextral. Cerca Táchata al sur de Los Teques este sistema se intercepta con el sistema de fallas de La Victoria.

Según el Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa de Urbani & Rodríguez (2004) la napa Ávila se encuentra en contacto al sur con la napa de Caracas a través la falla de Ávila, la cual tiene dirección E – W y un buzamiento elevado teniendo una componente dextral compuesta. Según Dengo (1951) esta falla se origina posterior al metamorfismo de la región.

Según Barreto (2010) las napas que conforman el relieve elevado de la cordillera de la Costa se encuentran en contacto por fallas de corrimiento con orientación general E -W. Este autor manifiesta que el contexto geológico regional de la zona norcentral del país implica una génesis muy complicada estructuralmente, por ello no es de extrañar la cantidad de fallas en la región, asociadas a fallas principales.

Existen varias fallas inactivas de orientación NWN – SES que fungen como contacto entre napas y unidades rocosas, así como de reacomodo.

III.2.3.2 Foliación

Orta (2003), establece que en la napa de Caracas el patrón preferencial de la orientación de la foliación está compuesta por cuatro direcciones: N 30°-70° E con buzamiento al norte, N 60°-70° E con buzamiento al sur, N-S buzando al oeste y E-O con buzamiento al norte. Dicha foliación se debe a la textura lepidoblástica, común en todas las unidades.

Esta misma autora establece que en la napa de Caucagua – El Tinaco la foliación es muy variable, sin embargo, conserva cierto paralelismo con la estratificación de las capas, especialmente a las de los metaconglomerados de Charallave.

III.2.3.3 Plegamiento

Los plegamientos se presentan sobre todo en las rocas metamórficas de cada napa como resultado de diversos esfuerzos durante los eventos de deformación que afectaron a estos cuerpos. Estos plegamientos se ven representados a pequeña escala que van desde micropliegues hasta algunos metros de amplitud y espesor. Establecer un sistema de deformación general para una napa es sumamente difícil, algunos autores han establecido períodos de plegamiento en algunos sectores.

Orta (2003) se basa en trabajos previos para establecer en la napa de Caracas tres períodos de plegamiento.

Beck (1985) establece que para el Gneis de La Aguadita existen tres períodos de deformación, mientras que para rocas suprayacentes (Esquisto de Tinapu y Metaconglomerado de Charallave) existe solo un período de deformación. A escala de afloramiento en el Esquisto de Tinapú y La Fillita de Tucutunemo se muestran pliegues en échelon de tipo kink, con amplitudes desde 20 cm. hasta 1 m.; estos pliegues tienen planos axiales de dirección NE, verticales ondulados o fuertemente inclinados (de 60° - 80°) hacia el norte o al sur. Además, menciona pliegues que van de unos cuantos, a cientos de metros, abiertos a isoclinales, con ejes orientados NE. Esta deformación afecta principalmente al Esquisto de Tinapu y a la Fillita de Tucutunemo.

III.2.4 Cuencas Cuaternarias

El relieve que se observa actualmente es el resultado de un lento pero constante proceso moldeador que incluye la interacción de variables geomorfológicas tales como el clima, la litología, las estructuras, y en tiempos más recientes, la actividad humana. Los últimos cambios que ha sufrido el relieve se han dado durante el período Cuaternario que abarca los últimos 2.6 millones de años de la tabla cronoestratigráfica y se divide en dos épocas que son el Pleistoceno y el Holoceno. Lo que ha caracterizado al período Cuaternario además de la aparición de los primeros *Homo Sapiens* son las cuatro glaciaciones (González de Juana et al, 1980) que se han registrado en desde el Pleistoceno.

Ya que los minerales de arcilla se suelen generar por la interacción de las rocas con el ambiente en lo que se conoce como el proceso de meteorización; y luego pueden ser transportadas por diversos agentes o permanecer in situ, es lógico pensar que la mayoría de estos cuerpos se encuentren en las formaciones más recientes, o son parte de las coberturas sedimentarias formadas por diversos procesos de geodinámica superficial, especialmente durante el Cuaternario. Los sedimentos del período Cuaternario en Venezuela se suelen encontrar como suelos residuales, o transportados por diversos factores y depositados en depresiones que fungen como cuencas formadas por eventos neotectónicos o por erosión fluvial. En el estado Miranda se encuentran diversas depresiones que actúan como almacén de sedimentos predominantemente Cuaternarios; las más importantes son la cuenca hidrográfica del río Tuy, la cuenca de Barlovento que pertenece a la parte baja de la cuenca del Tuy, la cuenca de Guarenas-Guatire, y la parte oriental de la cuenca del Valle de Caracas.

Para empezar, la cuenca hidrográfica del río Tuy abarca un área de 6600 km² y su principal drenaje es el río Tuy, que presenta una longitud aproximada de 270 km desde su cauce en al sur de la Colonia Tovar en el estado Aragua, hasta su desembocadura en Paraparo en el estado Miranda, y atraviesa en su recorrido los Valles del Tuy y la Llanura de Barlovento (Lara, R. 2014). González de Juana et al (1980) menciona que los valles de mayor relevancia se formaron a finales del Plioceno siendo

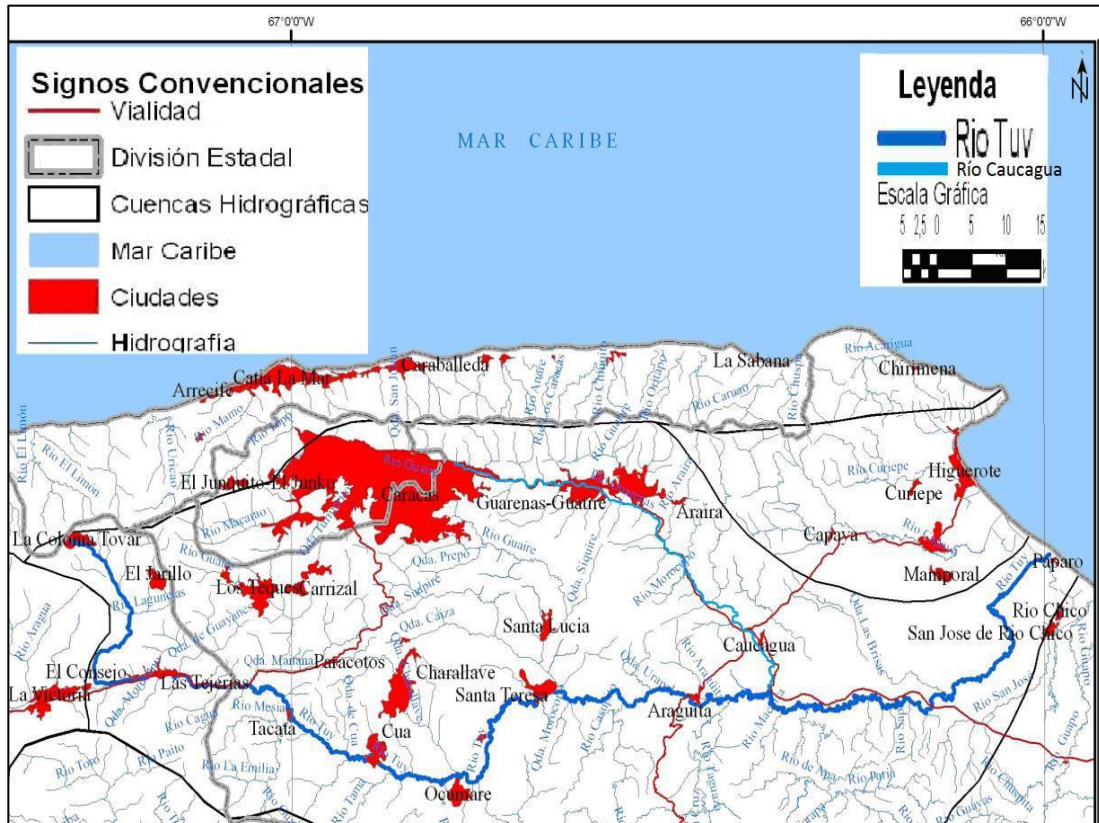
rellenados por sedimentos continentales cuyo mayor representante es la Formación Tuy, y que Picard & Pimentel (1968) describen como arcillas de origen lacustre bajo niveles de gravas torrenciales mal gradadas que sugieren que se sedimentó durante los períodos de variación climática del Pleistoceno, y que son intercalados por sedimentos morfoclimáticos áridos y lacustres de los períodos pluviales.

En el caso de la cuenca de Barlovento, Hernández, J & Rojas, E (2002) proponen un modelo genético que definiría a la depresión como un graben originado por un colapso orogénico durante el Mioceno lo cual generaría el espacio para que se depositen los sedimentos aluvionales de las formaciones Cauagua y Mamporal de manera sintectónica; y que representan períodos morfoclimáticos de aridez afectados por lluvias torrenciales durante las glaciaciones en el Pleistoceno.

La cuenca de Guarenas-Guatire se localiza en la parte norcentral del estado Miranda, y es drenada por el río Guarenas el cual nace en Santa Rosa al sur de la cadena montañosa del Ávila y sus aguas corren en dirección este-oeste hasta el cruce con el río Pacairigua donde nace el río Cauagua. Chantal, M & Herwart, V (2009) proponen que la depresión se origina como un semi-graben controlado por la Falla de Guarenas al sur durante el Plio-Pleistoceno, permitiendo la depositación de la Formación Guatire, la cual Picard (1976) describe como una parte inferior conglomerática seguida por una intercalación de arenas y arcillas hasta el tope. González de Juana et al (1980) sugiere que las semejanzas entre esta unidad sedimentaria, y la Formación Tuy corresponden a períodos morfoclimáticos similares.

Por último, el Valle de Caracas se localiza en el extremo noroeste del estado Miranda, y sus principales afluentes son el río Valle y el río Guaire. El Valle de Caracas es una depresión tectónica de ángulo de falla (Singer, A et al. 2007) en donde se encuentran sedimentos cuaternarios aluviales, fluviales, lacustres y aludes torrenciales. Según Singer et al (2007) en la parte este del valle destacan principalmente abanicos y terrazas fluvio-torrenciales con material de deslaves del Pleistoceno Medio (Q2) ; hacia la parte superior se pasa a facies más finas de explayamiento arenoso que normalmente se consigue con el tope erosionado. Se consiguen facies similares del Holoceno

Superior (Q0a) destacando 2 eventos de aludes torrenciales y deslaves posiblemente de la época Meso-India. Finalmente, en la parte superior del perfil se presentan canales de descarga correspondientes a los ríos Valle y Guaire del Holoceno Inferior (Q0b) intercalados con planicies aluviales y paleosuelos.



Figura#3.3 Mapa hidrográfico del estado Miranda. Extraído de Blanco, L. (2011)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

IV.1 GENERALIDADES

En la siguiente sección se presentan los resultados a partir de la información recolectada en diversas fuentes (físicas y bibliográficas), contabilizando un total de 80 muestras con sus respectivos difractogramas que se encuentran en varias zonas del estado Miranda.

Las muestras que se extrajeron de fuentes bibliográficas son en total 11, de las cuales diez son de tres trabajos de grado realizados en la Universidad Central de Venezuela, y una proviene del Atlas de Materias Primas de Venezuela del autor Camillo, F (S.F). Los trabajos de grado de donde se extrajeron las muestras se observan en la tabla #4.1, donde se destacan los autores, el año, la cantidad de muestras extraídas, la Facultad, Escuela y Departamentos. Cada una de las muestras de arcilla que se obtuvieron de estas fuentes contiene difractogramas naturales, glicolados y de fracción menor a dos micras (algunos solo naturales) así como las coordenadas UTM de las mismas.

La información de las 69 muestras restantes fue proveída por INVESTI, ya que habían realizado con anterioridad los ensayos de difracción de rayos X a cada muestra solo se necesitó recoger en los laboratorios del instituto los difractogramas (figura #4.1) de las muestras naturales, glicoladas y de fracciones menor a una micra; y las fichas correspondientes a cada ensayo de difracción de rayos X sobre una muestra. Estas últimas tienen la ubicación relativa de cada muestra; las cuales fueron graficadas con el *software* Google Earth y se obtuvieron un par de coordenadas de proyección UTM que se utilizaron para el su posterior ploteo en *softwares* SIG como ArcGIS© y QGIS. Además de la ubicación, las fichas también muestran una tabla con el cálculo del espaciado de planos (d), ángulo 2θ , intensidad relativa (I) y mineral asociado a cada pico; también aparece un resumen de la mineralogía de la muestra y en muchos casos algunas anotaciones de otros ensayos realizados. La figura #4.2 representa una ficha

escaneada; y en la tabla #4.2 se observan las 69 muestras procedentes del estado Miranda de las 1245 recolectadas a nivel nacional como parte del programa “Arcillas Industriales de Venezuela”.

Ya con todas las muestras ubicadas se procedió a generar una nomenclatura propia con el propósito de unificar las diversas fuentes de información en un solo sistema. Esta nueva nomenclatura se formó utilizando las iniciales de proyecto Atlas de Arcillas (AA) seguido de las iniciales del estado Miranda (Mi) y un número que es el elemento diferenciador de las muestras. El resultado final se observa en la tabla #4.3, la cual refleja las nomenclaturas tanto originales como las generadas para este proyecto de las 80 muestras; así como el autor de donde fue recuperada, las coordenadas en proyección UTM de las mismas, y los tipos de difractogramas dependiendo de los ensayos que se le realizaron a cada muestra, entre ellos está el de muestra total (Tot), el de muestra trata con ethinel glicol o ensayo glicolado (Gli), y el ensayo realizado a la fracción menor a dos micras, en caso de las muestras provenientes de INVESTI, menores a una micra, o fracción arcilla (Arc). Cabe destacar que las muestras AAMi70 hasta AAMi80 (incluyendo estas) se encuentran en el huso 20 de las coordenadas UTM.

Todas las muestras fueron graficadas en una base cartográfica a escala 1:25000 utilizando las coordenadas absolutas y relativas. La base tanto topográfica como geológica utilizada para los mapas fue recuperada de diversos trabajos de grado pertenecientes al proyecto de “Atlas geológico de la Cordillera de la Costa” iniciado en el 2013 por la Universidad Central de Venezuela (UCV) con el apoyo de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y tutorado por los profesores Franco Urbani y Ricardo Alezones. Esta misma base topográfica y geológica es la utilizada para la generación de los mapas finales del trabajo donde se encuentran representadas las muestras de arcilla.

Los difractogramas físico (figura #4.1) fueron escaneados; y a través de una aplicación para navegadores desarrollada en con la tecnología HTML5 se obtuvieron las coordenadas de los puntos que se guardaron en archivos tipo CSV (Comma Separated

Values por sus siglas en inglés; la traducción sería Valores Separados por Comas) y gracias a esto se consiguió digitalizar los gráficos con el software Excel. Cabe destacar que este mismo proceso se aplicó con los difractogramas digitales recuperados en las fuentes bibliográficas.

A partir de la ubicación de las muestras se realizó una primera clasificación; esto con la finalidad de asociar cada grupo a un posible origen común. Se definieron las zonas donde se encuentran las muestras y se delimitaron en base a características geológicas y topográficas del terreno, así como la distribución de las muestras en cada zona. Las muestras se encuentran organizadas en tablas asociadas a cada zona. Esta aproximación permite entender la distribución de los minerales de arcilla de manera más exacta ya que se pueden asociar los minerales de arcilla comunes en cada grupo a procesos geológicos similares.

Tabla #4.1. Trabajos bibliográficos de los cuales se extrajeron muestras de arcillas

Nombre	Autor(es)	Año	# de Muestras	Nombre(s) de la muestra(s)	Facultad	Escuela	Departamento
Estudio mineralógico de la fracción lodo de los sedimentos de la cuenca del río Tuy, Venezuela.	Br. Rossina Alejandra Lara Hernández	2014	6	Araguita	Ciencias	Química	Ciencias de la Tierra
				Boca de Paparo			
				Río Guare			
				Río Guaire			
				Río Taguaza			
Río Caucagua							
Caracterización mineralógica y parámetros geotécnicos de arcillas venezolanas como fuente de lodo bentonítico	Ing. Scremin L. Luis D.	2019	1	Ocumare del Tuy	Ingeniería	Geología, Minas y Geofísica	Posgrado
Determinación y evaluación de las arcillas expansivas y dispersivas en tres localidades al norte de Venezuela, estados Anzoátegui, Falcón y Miranda	Bachilleres: Guevara R. Elio J. López N. Carlos I.	2012	2	ChO-04	Ingeniería	Geología, Minas y Geofísica	Geología
				ChSt-03			
Caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la hacienda el marqués, municipio Zamora, Guatire, estado Miranda	Bachilleres: Castro S. Daniela Rivero L. William D.	2010	1	UM22	Ingeniería	Geología, Minas y Geofísica	Geología
Atlas de materias primas de Venezuela	Camillo, F	Sin Fecha	1	Caucagua			

Tabla #4.2. Muestras del estado Miranda recolectadas por INVESTI

Muestra	Muestra	Muestra
INV 305	INV 460	INV 961
INV 325	INV 461	INV 962
INV 438	INV 925	INV 963
INV 439	INV 926	INV 964
INV 440	INV 927	INV 965
INV 441	INV 928	INV 966
INV 442	INV 929	INV 967
INV 443	INV 930	INV 968
INV 444	INV 931	INV 969
INV 445	INV 932	INV 970
INV 446	INV 933	INV 971
INV 447	INV 934	INV 972
INV 448	INV 935	INV 973
INV 449	INV 936	INV 974
INV 450	INV 937	INV 975
INV 451	INV 938	INV 976
INV 452	INV 939	INV 977
INV 453	INV 940	INV 978
INV 454	INV 941	INV 979
INV 456	INV 957	INV 980
INV 457	INV 958	INV 1150
INV 458	INV 959	INV 1151
INV 459	INV 960	INV 1152

Tabla #4.3. Nomenclaturas de las muestras

Nombre Nuevo	Nomenclatura Original	Coordenada E	Coordenada N	Autor de la muestra	DRX		
					Tot	Gli	Arc
AAMi1	Araguita	779500	1131800	Lara, A	Si	No	No
AAMi2	Boca de Paparo	829000	1150500	Lara, A	Si	Si	No
AAMi3	Río Guare	719300	1128400	Lara, A	Si	Si	No
AAMi4	Río Guaire	757800	1133500	Lara, A	Si	No	No
AAMi5	Río Taguaza	782000	1123900	Lara, A	Si	Si	No
AAMi6	Río Caucagua	789100	1133200	Lara, A	Si	No	No
AAMi7	Ocumare del Tuy	743188	1122977	Scremin, L.	Si	No	No
AAMi8	ChO-04	742113	1123027	Guevara, E & López, C	Si	Si	No
AAMi9	ChSt-03	741275	1136428	Guevara, E & López, C	Si	Si	No
AAMi10	UM22	766663	1156865	Castro, D & Rivero, W	Si	No	No
AAMi11	Caucagua	787960	1137639	Camillo, F	Si	No	No
AAMi12	INV 305	772178	1157375	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi13	INV 325	729471	1128529	INVESTI	Si	Si	No
AAMi14	INV 438	733393	1128011	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi15	INV 439	733357	1127076	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi16	INV 440	731634	1131359	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi17	INV 441	732238	1123704	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi18	INV 442	732931	1123059	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi19	INV 443	738829	1121178	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi20	INV 444	740888	1125048	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi21	INV 445	738311	1127772	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi22	INV 446	734955	1131727	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi23	INV 447	734410	1131612	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi24	INV 448	733720	1131203	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi25	INV 449	732015	1128797	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi26	INV 450	731379	1128037	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi27	INV 451	730553	1126271	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi28	INV 452	742365	1135341	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi29	INV 453	743991	1134302	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi30	INV 454	745962	1134642	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi31	INV 456	749298	1135296	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi32	INV 457	750257	1135112	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi33	INV 458	751734	1131015	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi34	INV 459	750120	1130377	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi35	INV 460	746471	1122169	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi36	INV 461	744652	1121447	INVESTI	Si	Si	Si
AAMi37	INV 925	788302	1141258	INVESTI	Si	Si	No
AAMi38	INV 926	789955	1142811	INVESTI	Si	Si	No

Tabla #4.3. Nomenclaturas de las muestras. Continuación

Nombre Nuevo	Nomenclatura Original	Coordenada E	Coordenada N	Autor de la muestra	DRX		
					Tot	Gli	Arc
AAMi39	INV 927	793751	1146150	INVESTI	Si	Si	No
AAMi40	INV 928	794741	1147244	INVESTI	Si	Si	No
AAMi41	INV 929	798658	1151272	INVESTI	Si	Si	No
AAMi42	INV 930	801107	1152438	INVESTI	Si	No	No
AAMi43	INV 931	805760	1151576	INVESTI	Si	Si	No
AAMi44	INV 932	814936	1146322	INVESTI	Si	No	No
AAMi45	INV 957	758207	1145158	INVESTI	Si	Si	No
AAMi46	INV 958	758198	1144968	INVESTI	Si	Si	No
AAMi47	INV 959	758234	1144594	INVESTI	Si	Si	No
AAMi48	INV 960	758078	1143787	INVESTI	Si	Si	No
AAMi49	INV 961	757555	1143361	INVESTI	Si	Si	No
AAMi50	INV 962	756732	1141751	INVESTI	Si	Si	No
AAMi51	INV 963	755460	1138966	INVESTI	Si	Si	No
AAMi52	INV 964	753459	1108294	INVESTI	Si	Si	No
AAMi53	INV 965	789113	1133301	INVESTI	Si	Si	No
AAMi54	INV 966	789308	1131747	INVESTI	Si	Si	No
AAMi55	INV 967	791959	1130983	INVESTI	Si	No	No
AAMi56	INV 968	784889	1136975	INVESTI	Si	Si	No
AAMi57	INV 969	784850	1137012	INVESTI	Si	Si	No
AAMi58	INV 970	784642	1136704	INVESTI	Si	Si	No
AAMi59	INV 971	813907	1152891	INVESTI	Si	No	No
AAMi60	INV 972	815453	1154836	INVESTI	Si	No	No
AAMi61	INV 973	813409	1159116	INVESTI	Si	Si	No
AAMi62	INV 974	812744	1159142	INVESTI	Si	No	No
AAMi63	INV 975	808915	1158378	INVESTI	Si	Si	No
AAMi64	INV 976	805980	1158392	INVESTI	Si	Si	No
AAMi65	INV 977	805440	1159050	INVESTI	Si	Si	No
AAMi66	INV 978	804081	1158622	INVESTI	Si	Si	No
AAMi67	INV 979	803841	1158963	INVESTI	Si	No	No
AAMi68	INV 980	730120	1125282	INVESTI	Si	Si	No
AAMi69	INV 1152	827671	1125637	INVESTI	Si	No	No
AAMi70	INV 933	176159	1135137	INVESTI	Si	Si	No
AAMi71	INV 934	177019	1131400	INVESTI	Si	No	No
AAMi72	INV 935	180655	1123658	INVESTI	Si	No	No
AAMi73	INV 936	181170	1123652	INVESTI	Si	No	No
AAMi74	INV 937	189138	1125328	INVESTI	Si	Si	No
AAMi75	INV 938	191701	1126164	INVESTI	Si	No	No
AAMi76	INV 939	195579	1125823	INVESTI	Si	Si	No
AAMi77	INV 940	204937	1125158	INVESTI	Si	No	No
AAMi78	INV 941	224044	1123249	INVESTI	Si	No	No
AAMi79	INV 1150	172649	1124097	INVESTI	Si	Si	No
AAMi80	INV 1151	172649	1124097	INVESTI	Si	Si	No

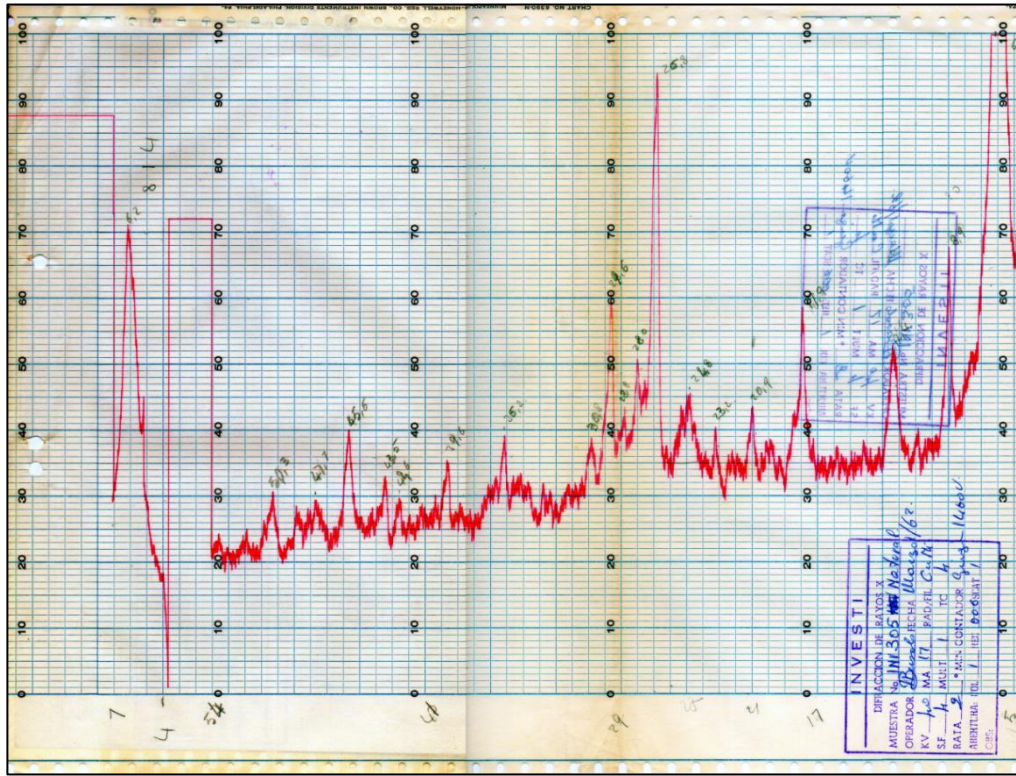


Figura #4.1. Difractograma de la muestra INV 305 Natural

2θ	d	\pm		INV 305 Nat.
6.2	1424	142	Mont.	
6.5	993	68	Illite(001)	Montmorillonite
12.4	713	62	Kaol(001)	Little / Kaolinite
17.9	495.1	58	Illite(002)	Illite
20.9	424.7	63	Qtz(000)	Qtz
23.2	383.1	40	Calcite	Calcite (checked chemically)
24.8	358.8	46	Kaol(002)	
26.8	332.4	94	Qtz(101)	Clyc: Expansion to 16.67 Å
28.0	318.4	51		Heat: Collapse to 993 Å
28.8	309.7	43(?)		
29.6	301.5	61	Calcite	
30.8	290.1	39		
36.2	247.9	39	Calcite	
39.6	227.3	35	Qtz-calcite	
42.6	212.0	30	Qtz(200)	
43.5	207.8	33	Calcite	
45.6	198.7	40	Qtz	2km E. de la Encrucijada de Guatire corte en carr. Caracas -
47.7	190.4	29(?)	Illite(003?)	Caucaigua -
50.3	181.2	31	Qtz(211)	Miranda

Figura #4.2. Ficha de la muestra INV 305 Natural

Al observar la figura #4.3 se aprecia que las muestras de arcilla se encuentran en zonas donde predominan depósitos sedimentarios consolidados y no consolidados.

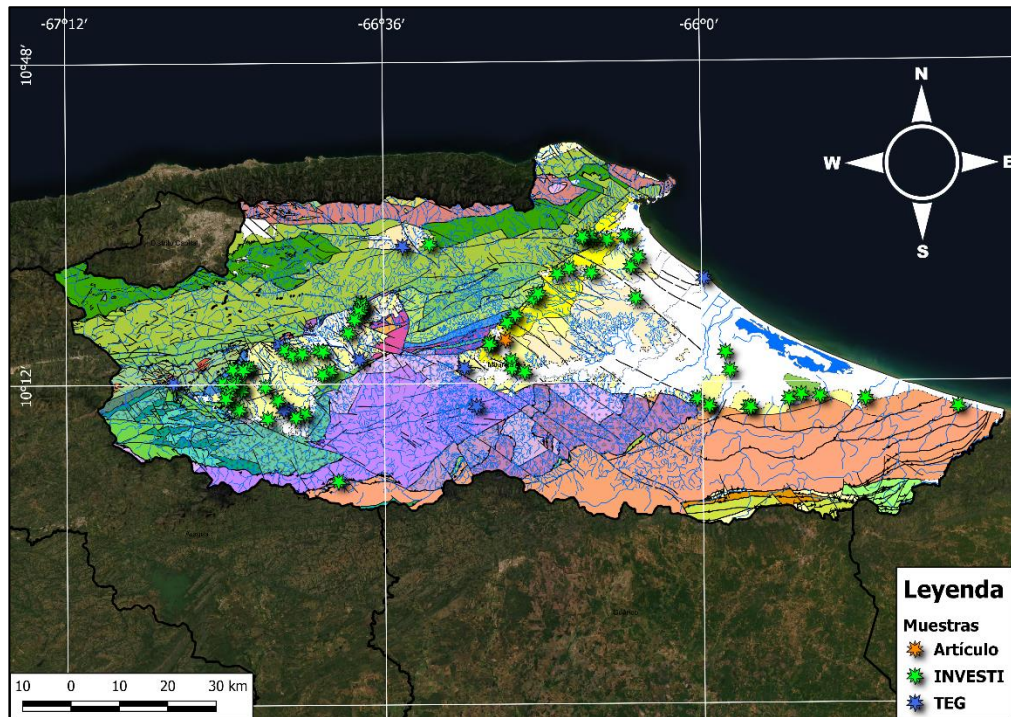


Figura #4.3. Mapa esquemático del estado Miranda donde se indican los lugares de muestreo de cuerpos de arcilla

Estos depósitos sedimentarios se encuentran a su vez en las tres grandes cuencas sedimentarias del estado Miranda que son la Cuenca de Barlovento, la Cuenca Tuy-Charallave y la Cuenca Guarenas-Guatire (ver Figura #4.4).

La agrupación de las muestras en tres cuencas sedimentarias permite un mejor análisis en lo que respecta a la determinación del origen de los minerales de arcilla ya que se relacionan los procesos sedimentarios y neotectónicos que afectan a las cuencas; en tal sentido, se puede inferir el origen de los sedimentos a través de la caracterización mineralógica de un grupo de muestras de arcillas en determinada sección de una cuenca sedimentaria.

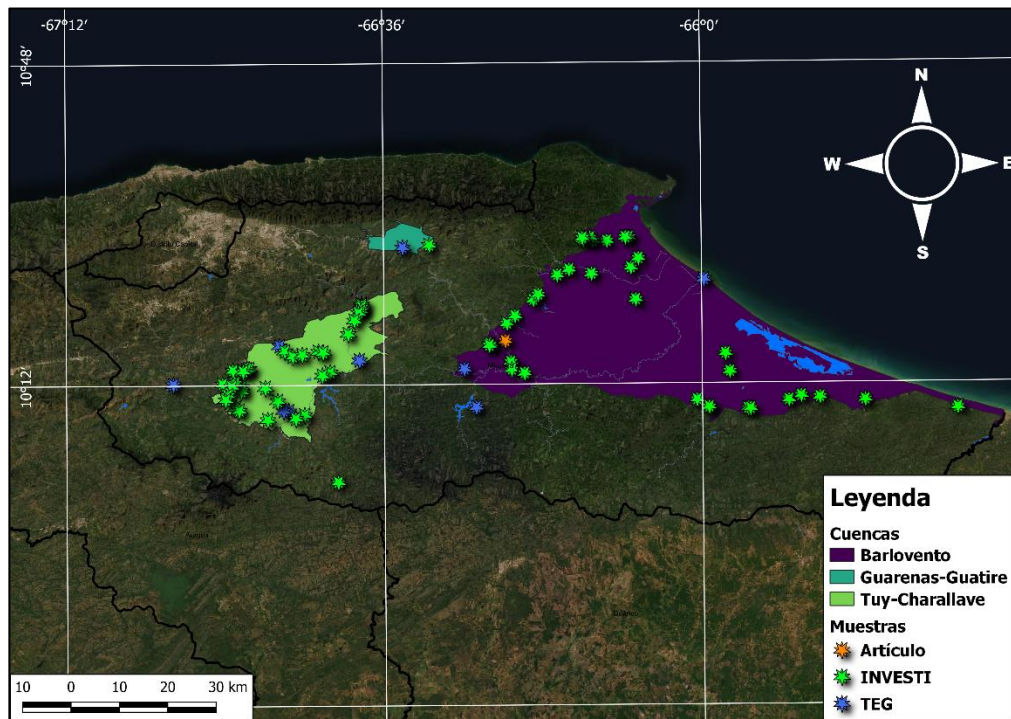


Figura #4.4. Cuencas sedimentarias del estado Miranda

En el caso de las muestras AAMi3, AAMi5 y AAMi52 que se encuentran fuera de los límites de las cuencas sedimentarias se analizarán de manera particular al ser recolectadas en zonas donde afloran rocas ígneo-metamórficas pertenecientes a la Cordillera de la Costa, por lo tanto, los procesos geológicos, así como la fuente mineral de origen de los minerales de arcilla pueden ser de carácter diferente al del resto de muestras que se encuentran en cuencas sedimentarias.

Lo mismo ocurre con las muestras AAMi13, AAMi16, AAMi25 y AAMi26 que se localizan al este de la cuenca Tuy-Charallave sobre la unidad metasedimentaria denominada metaconglomerados de Charallave; estas se analizarán como un grupo particular debido a su cercanía y que fueron recolectadas de la misma unidad litológica, formando así el grupo de muestras del metaconglomerado de Charallave.

IV.1.1 Cuenca de Barlovento

En la cuenca de Barlovento se encuentran un total de 39 muestras distribuidas alrededor de la cuenca, concentrándose en los bordes de la misma donde se afloran la mayor parte de las rocas sedimentarias más antiguas.

Casi todas las muestras que fueron recolectadas en la cuenca provienen de parte de INVESTI exceptuando la muestra AAMi11 que fue consultada en el Atlas de Materias Primas de Venezuela del autor Camillo, F; y las muestras AAMi1, AAMi2 y AAMi6 que fueron recuperadas del trabajo de grado de Lara (2014).

La cuenca de Barlovento se dividió en dos partes teniendo como elemento divisor el río Tuy; esta diferenciación tiene el propósito de realizar un análisis más certero desde un punto de vista geológico ya que las fuentes de aporte de sedimentos son de carácter diferente encontrándose al norte la Serranía Litoral y al sur la Serranía del Interior. En tal sentido se definieron dos secciones de la cuenca de Barlovento denominadas Barlovento-Norte y Barlovento-Sur como se observa en la figura #4.5, en la que, además, se logra apreciar la dirección de los drenajes que aportan sedimentos de las serranías mencionadas anteriormente.

Las fuentes de sedimentos no son el único elemento que diferencia estas secciones de la cuenca, sino que, además, al observar la figura #4.6 queda en evidencia que la parte norte presenta la mayor cantidad de formaciones sedimentarias más antiguas mientras que en el sur abundan los sedimentos recientes no consolidados.

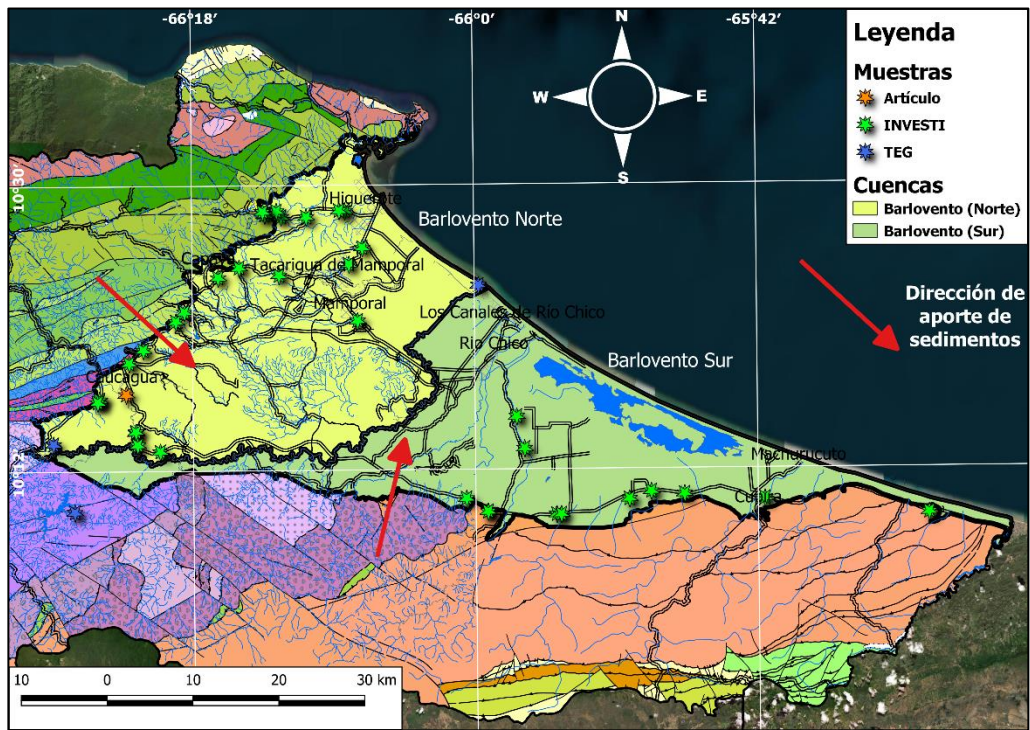


Figura #4.5. División de la cuenca de Barlovento a partir del río Tuy

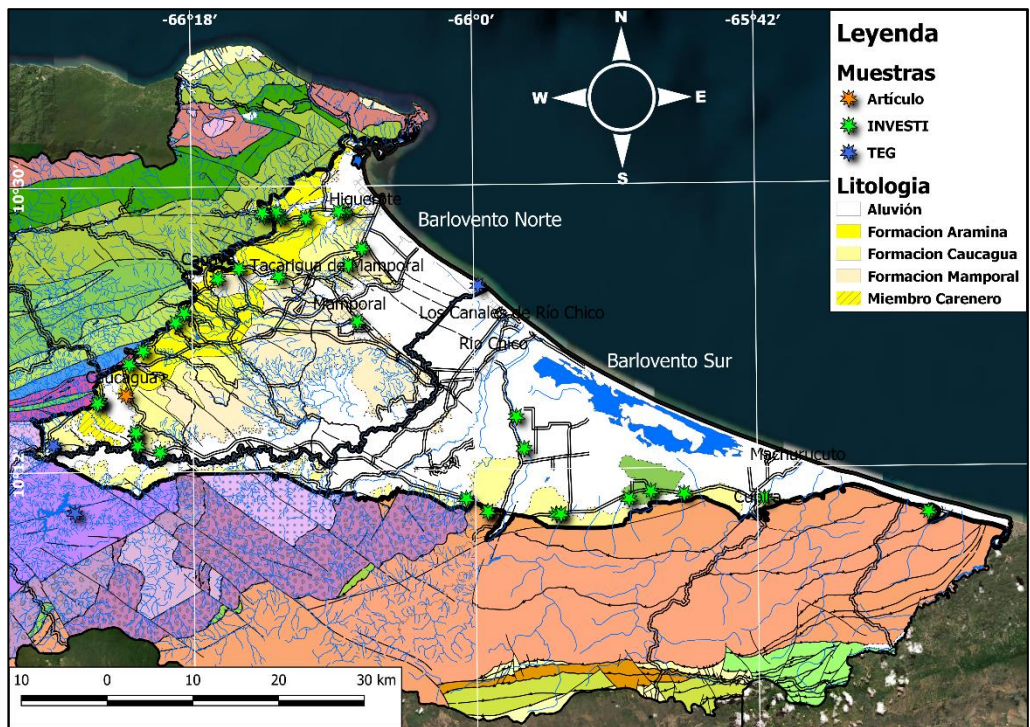


Figura #4.6. Unidades sedimentarias de la cuenca de Barlovento

IV.1.1.1 Cuenca Barlovento-Norte

En la tabla #4.4 aparecen las muestras que se encuentran en cada sección de la cuenca de Barlovento; en la parte norte hay un total de 27 muestras de arcilla.

Tabla #4.4. Muestras de la cuenca Barlovento Norte

Nombre	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAMi1	779500	1131800	TEG
AAMi2	829000	1150500	TEG
AAMi6	789100	1133200	TEG
AAMi11	787960	1137639	ATLAS MATERIAS PRIMAS
AAMi37	788302	1141258	INVESTI
AAMi38	789955	1142811	INVESTI
AAMi39	793751	1146150	INVESTI
AAMi40	794741	1147244	INVESTI
AAMi41	798658	1151272	INVESTI
AAMi42	801107	1152438	INVESTI
AAMi43	805760	1151576	INVESTI
AAMi44	814936	1146322	INVESTI
AAMi53	789113	1133301	INVESTI
AAMi54	789308	1131747	INVESTI
AAMi55	791959	1130983	INVESTI
AAMi56	784889	1136975	INVESTI
AAMi57	784850	1137012	INVESTI
AAMi58	784642	1136704	INVESTI
AAMi59	813907	1152891	INVESTI
AAMi60	815453	1154836	INVESTI
AAMi61	813409	1159116	INVESTI
AAMi62	812744	1159142	INVESTI
AAMi63	808915	1158378	INVESTI
AAMi64	805980	1158392	INVESTI
AAMi65	805440	1159050	INVESTI
AAMi66	804081	1158622	INVESTI
AAMi67	803841	1158963	INVESTI

IV.1.1.2 Cuenca Barlovento-Sur

En la parte sur de la cuenca se encuentran las 12 muestras restantes que se encuentran ilustradas en la tabla #4.5. Es importante destacar que la muestra AAMi69 está en el huso 19 de las coordenadas UTM; el resto están en el huso 20.

Tabla #4.5. Muestras de la cuenca Barlovento Sur

Nombre	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAMi69	827671	1125637	INVESTI
AAMi70	176159	1135137	INVESTI
AAMi71	177019	1131400	INVESTI
AAMi72	180655	1123658	INVESTI
AAMi73	181170	1123652	INVESTI
AAMi74	189138	1125328	INVESTI
AAMi75	191701	1126164	INVESTI
AAMi76	195579	1125823	INVESTI
AAMi77	204937	1125158	INVESTI
AAMi78	224044	1123249	INVESTI
AAMi79	172649	1124097	INVESTI
AAMi80	172649	1124097	INVESTI

IV.1.2 Cuenca Guarenas-Guatire

La cuenca Guarenas-Guatire es la más pequeña de las tres definidas y posee únicamente dos muestras de arcilla provenientes de la Formación Guatire en el centro y oeste de la cuenca. Las muestras fueron tomadas del trabajo de grado de Castro y Rivero (2010); y la otra proporcionada INVESTI.

Como se observa en la figura #4.7, la cuenca se encuentra rodeada por el Esquisto de Las Mercedes exceptuando una pequeña porción al norte donde limita a través de un contacto de falla con el Complejo San Julián; por lo tanto, las fuentes de sedimentos de la cuenca no son tan variadas como en el caso de las otras.

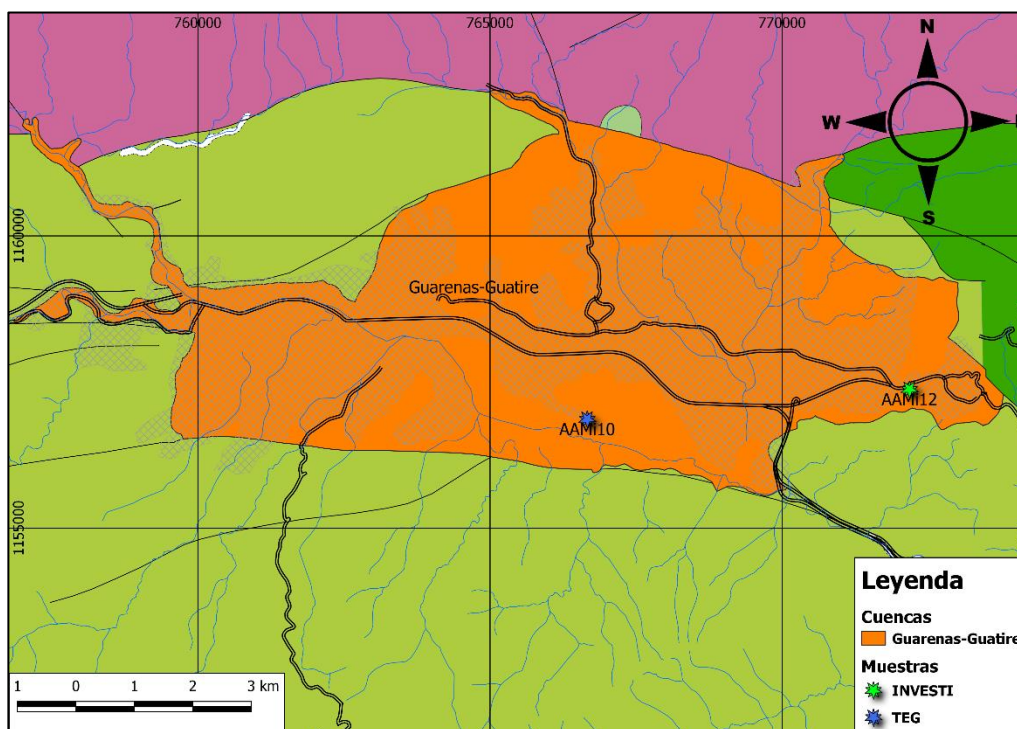


Figura #4.7. Mapa de la cuenca Guarenas-Guatire con ubicación de las muestras

Las muestras en cuestión corresponden a la AAMi10 cuya fuente bibliográfica es el trabajo de Castro y Rivero (2010); y la AAMi12 proveniente de INVESTI tal como se expresa en la tabla #4.6 y la figura #4.8, en la que además se muestran las formaciones sedimentarias que componen la cuenca, así como las unidades ígneo-metamórficas que la circundan.

Tabla #4.6. Muestras de la cuenca Guarenas-Guatire

Nombre	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAMi10	766663	1156865	TEG
AAMi12	772178	1157375	INVESTI

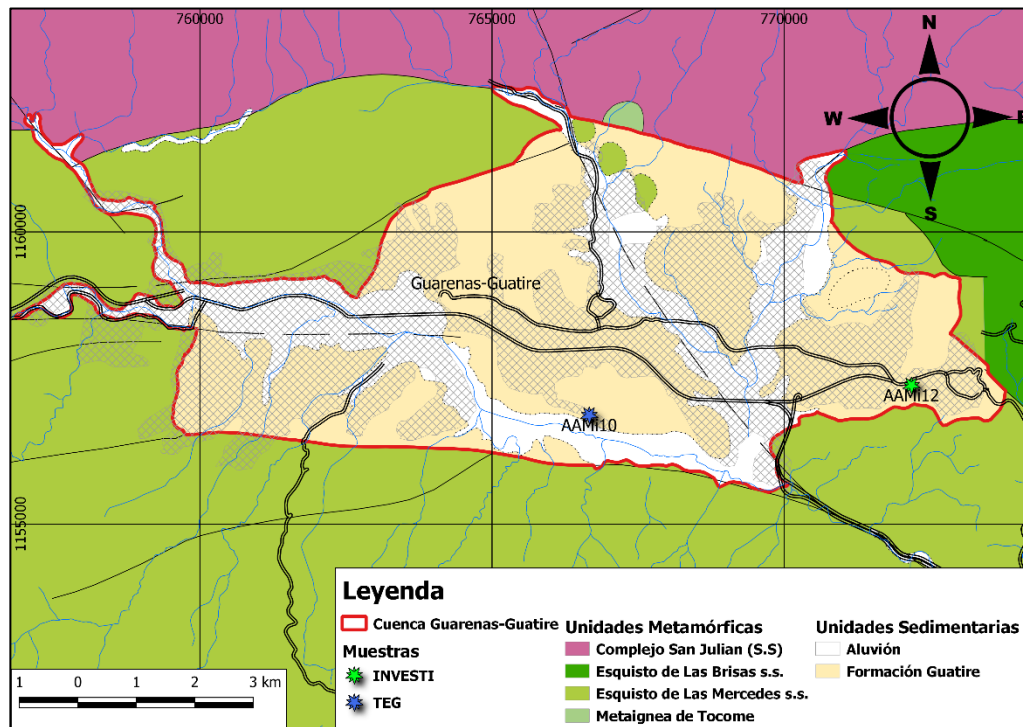


Figura #4.8. Mapa geológico de la cuenca Guarenas-Guatire

IV.1.3 Cuenca Tuy-Charallave

La cuenca de Tuy-Charallave presenta un total de 32 muestras de arcilla, estas fueron recolectadas de las formaciones sedimentarias como la Formación Tuy, Formación Siquire y Formación Pichao; y de depósitos aluviales a los costados de diversos afluentes del río Tuy tal como se observa en la figura #4.9.

Del total de muestras de la cuenca, cuatro se obtuvieron a través de diversas fuentes bibliográficas y las 28 restantes provienen de INVESTI; esto queda reflejado en la tabla #4.7

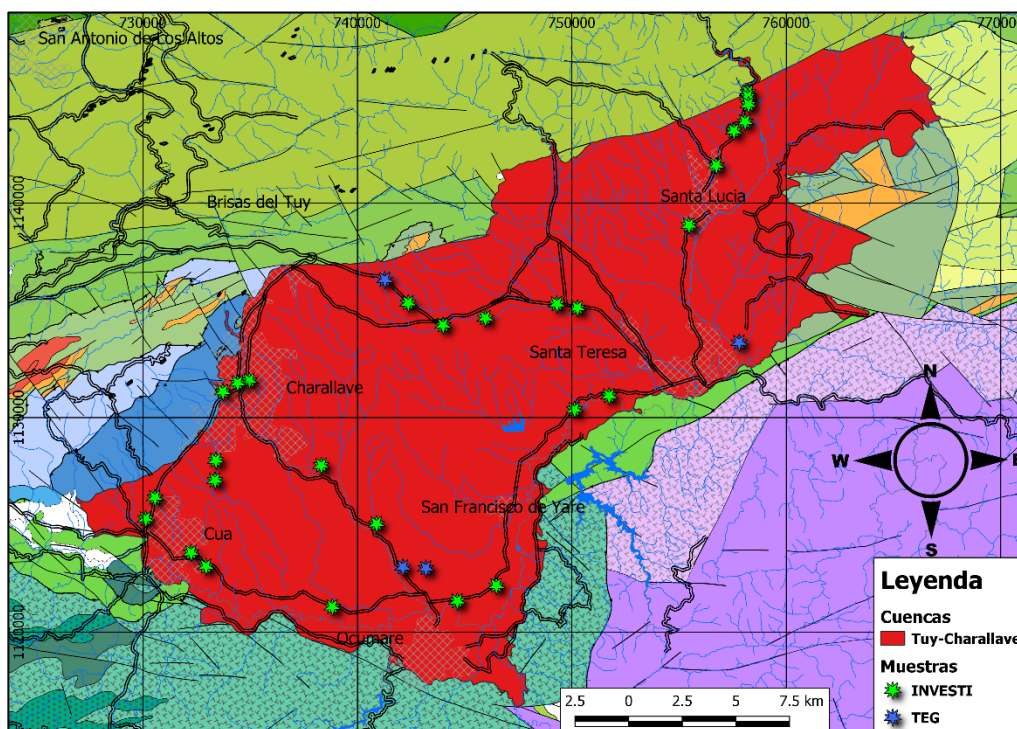


Figura #4.9. Mapa de la cuenca Tuy-Charallave

Tabla #4.7. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave

Nombre	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAMi4	757800	1133500	TEG
AAMi7	743188	1122977	TEG
AAMi8	742113	1123027	TEG
AAMi9	741275	1136428	TEG
AAMi14	733393	1128011	INVESTI
AAMi15	733357	1127076	INVESTI
AAMi17	732238	1123704	INVESTI
AAMi18	732931	1123059	INVESTI
AAMi19	738829	1121178	INVESTI
AAMi20	740888	1125048	INVESTI
AAMi21	738311	1127772	INVESTI
AAMi22	734955	1131727	INVESTI
AAMi23	734410	1131612	INVESTI
AAMi24	733720	1131203	INVESTI
AAMi27	730553	1126271	INVESTI
AAMi28	742365	1135341	INVESTI
AAMi29	743991	1134302	INVESTI
AAMi30	745962	1134642	INVESTI
AAMi31	749298	1135296	INVESTI

Tabla #4.7. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave. Continuación

Nombre	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAMi32	750257	1135112	INVESTI
AAMi33	751734	1131015	INVESTI
AAMi34	750120	1130377	INVESTI
AAMi35	746471	1122169	INVESTI
AAMi36	744652	1121447	INVESTI
AAMi45	758207	1145158	INVESTI
AAMi46	758198	1144968	INVESTI
AAMi47	758234	1144594	INVESTI
AAMi48	758078	1143787	INVESTI
AAMi49	757555	1143361	INVESTI
AAMi50	756732	1141751	INVESTI
AAMi51	755460	1138966	INVESTI
AAMi68	730120	1125282	INVESTI

La cuenca se encuentra rodeada por unidades ígneo-metamórficas, siendo especialmente importantes las que se encuentran al norte como el Esquisto de Las Mercedes, ya que los drenajes tienen una dirección preferencial de norte a sur, desembocando en el río Tuy que recorre toda la cuenca. En la figura #4.10 se observan las diversas unidades sedimentarias y sedimentos recientes que conforman la cuenca.

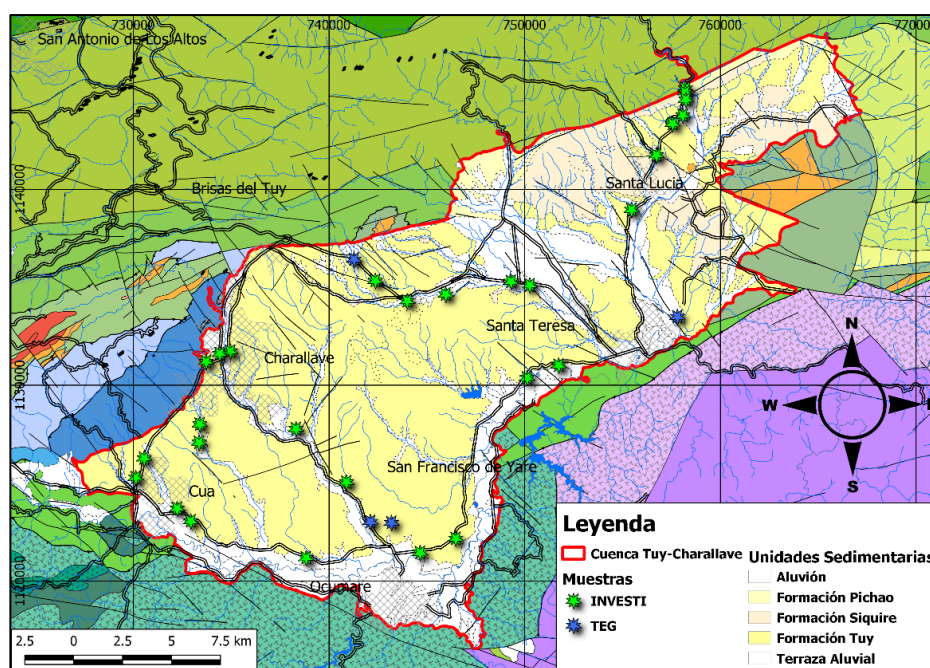


Figura #4.10. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave

IV.1.4 Muestras del Metaconglomerado de Charallave

Sobre esta unidad metasedimentaria se encuentran un total de cuatro muestras recuperadas de INVESTI. Esta unidad contrasta con las formaciones sedimentarias que se encuentran al este debido a su carácter metamórfico y su edad (Cretácico); y por tales motivos se agruparon las muestras de arcilla que se tomaron de esta de manera particular. La tabla #4.8 presenta las muestras que se encuentran en dicho grupo y la figura #4.11 como se encuentran distribuidas a lo largo de la unidad metasedimentaria. Las 4 muestras fueron dadas por INVESTI.

Tabla #4.8. Muestras de arcilla del metaconglomerado de Charallave

Nombre	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAMi13	729471	1128529	INVESTI
AAMi16	731634	1131359	INVESTI
AAMi25	732015	1128797	INVESTI
AAMi26	731379	1128037	INVESTI

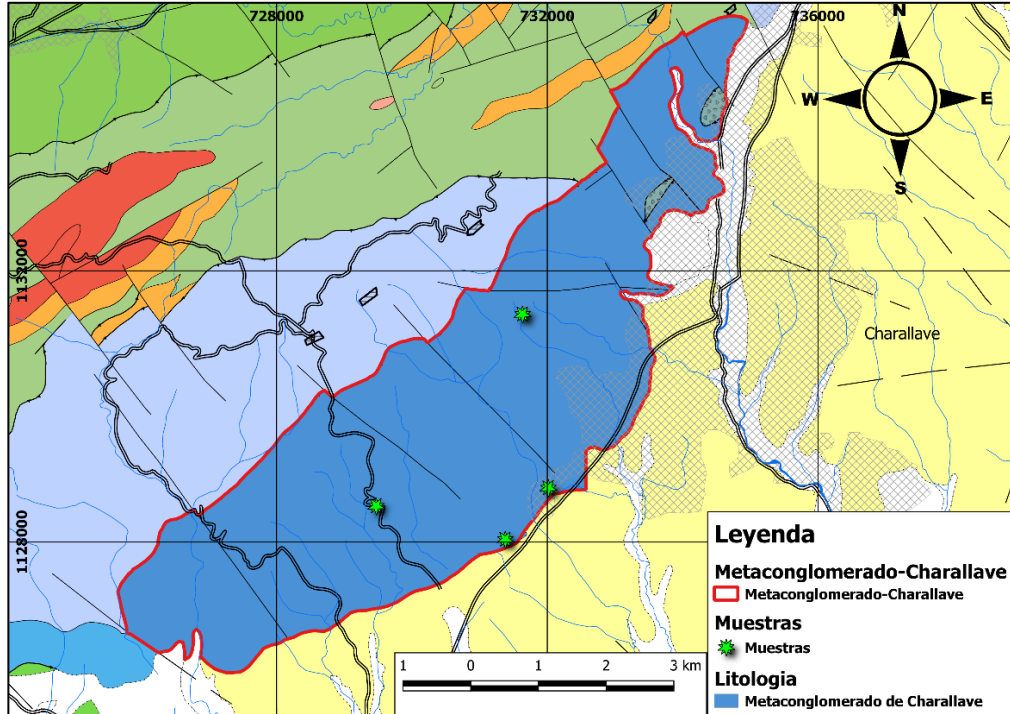


Figura #4.11. Mapa esquemático del Metaconglomerado de Charallave

IV.1.5 Muestra AAMi3

Esta muestra se encuentra en las cercanías de la localidad de TÁCATA sobre la unidad metamórfica denominada Esquisto de Curucujul. La muestra de arcilla fue recolectada por Lara (2014) como parte de su trabajo de grado realizado a lo largo del río Tuy. En la figura #4.12 se observa la ubicación de la muestra

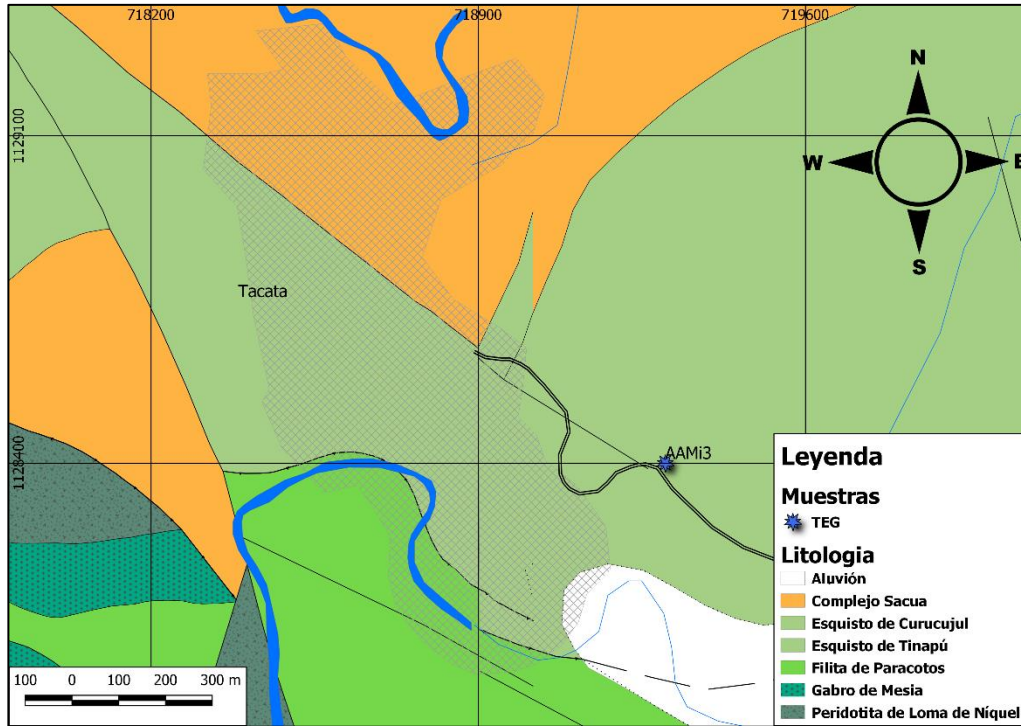


Figura #4.12. Mapa esquemático de la región donde se recolectó la muestra AAMi3

IV.1.6 Muestra AAMi5

La muestra de arcilla se encuentra cerca del río Taguaza en el embalse homónimo; fue recolectada por Lara (2014) y representa una sección meteorizada del Granofel de Santa Isabel tal como se observa en la figura #413. Algo importante a destacar es que el río Taguaza es un afluente del río Tuy (Lara. 2014) y desemboca en la sección del río que se encuentra en la cuenca de Barlovento por lo que algunos sedimentos transportados ser depositan en esta sección de la cuenca.

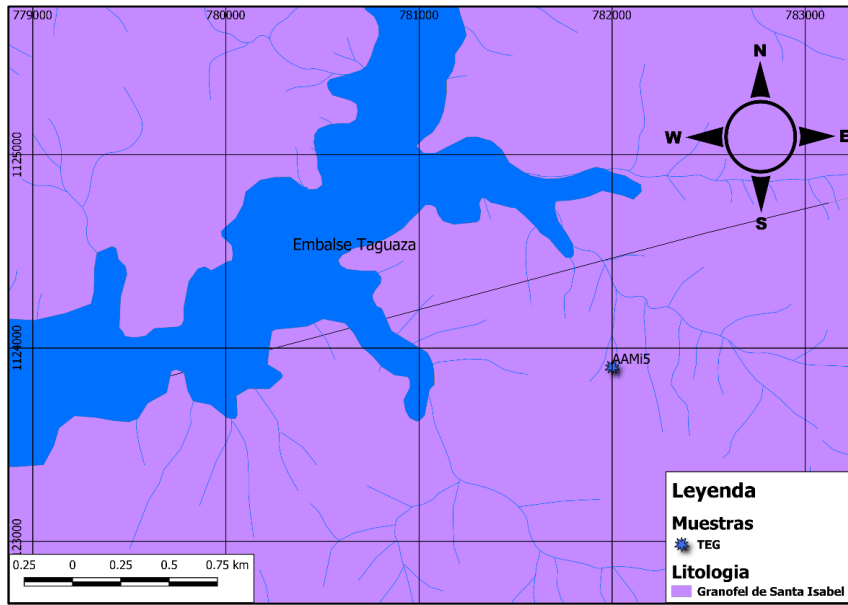


Figura #4.13. Mapa esquemático de la región donde se recolectó la muestra AAMi5

IV.1.7 Muestra AAMi52

Se localiza cerca del poblado de Quiripital sobre la unidad ígnea del Basalto de Las Hermanas. Fue recolectada por INVESTI en un corte de carretera tal como se observa en la figura #4.14.

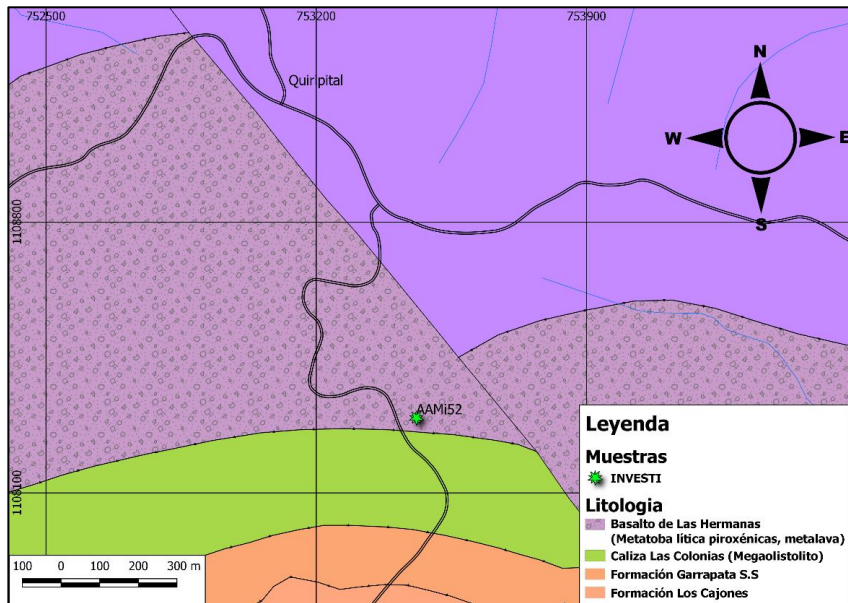


Figura #4.14. Mapa esquemático de la región donde se recolectó la muestra AAMi52

IV.2 DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X

Ya con las muestras agrupadas con base a su ubicación se describirá la mineralogía de cada uno de estos grupos a partir de la lectura e interpretación de los difractogramas; esta parte constituye la base del análisis que se realiza en el capítulo posterior con la finalidad de darle un sentido geológico a la génesis de los minerales de arcilla.

A partir de la mineralogía de arcillas de las muestras en determinadas zonas se generaron nuevos grupos esta vez en función de minerales arcillas que se encuentre. Esta agrupación final será la que se utilice en capítulos posteriores para determinar la génesis desde un punto de vista geológico y los usos industriales que puedan tener cada grupo de muestras con determinada mineralogía.

Es importante destacar que la clasificación se hizo con base a cinco minerales de arcilla considerados los más comunes: Montmorillonita, Caolinita, Vermiculita, Illita y Clorita.

La mineralogía de las muestras se determinó a través de los picos de los difractogramas; de estos se obtuvo el ángulo 2θ de cada uno y con la Ley de Bragg se calculó el espaciamiento entre planos (d) del mineral. Este valor se comparó con las tablas JCPDS y patrones ya existentes. Existen minerales cuyos picos pueden solaparse debido a que poseen un espaciamiento interplanar similar; tal es el caso de la vermiculita y montmorillonita que en los difractogramas de naturales de mineralogía total o de fracción arcilla tienen picos en el rango 2θ entre los 5.6° y los 6.4° (valores de d que oscilan entre los 14 y 15 Å); en ese caso se debe recurrir al difractograma de la muestra glicolada ya que la montmorillonita se expande al formar complejos de doble capa con glicerol, lo que produce que su espaciamiento interplanar aumente de manera considerable moviendo el pico a valores entre 4.8° y 5° en el eje 2θ (espaciamiento d entre 18 y 17.8 Å respectivamente). La vermiculita permanece prácticamente sin alteración permitiendo la correcta diferenciación entre estos minerales (Justo & Morillo. 1999); aunque, este es el caso de minerales puros y en la naturaleza es difícil que esto ocurra. Los picos de la vermiculita pueden expandirse un

poco mientras que los de la montmorillonita quizás no lleguen a dichos valores de espaciamiento; esto se debe tener presente al momento de interpretar los difractogramas.

A continuación, se mostrará la clasificación de las muestras en base a su mineralogía partiendo de la agrupación de las cuencas explicada anteriormente.

IV.2.1 Muestras de la cuenca de Barlovento

La cuenca de Barlovento fue dividida en dos partes denominadas Barlovento Norte y Barlovento Sur; por lo tanto, se procederá a describir la mineralogía de las muestras según esta primera agrupación.

IV.2.1.1 Muestras de la cuenca Barlovento Norte

En la tabla #4.9 se muestra la mineralogía total de cada muestra perteneciente a la cuenca Barlovento Norte que se obtuvo a través de los distintos difractogramas.

Tabla #4.9. Mineralogía de las muestras de Barlovento Norte.

Muestra	Mineralogía total
AAMi1	Vermiculita (posible), Montmorillonita (posible), Cuarzo, Feldespato, Illita
AAMi2	Montmorillonita, Caolinita, Illita, Cuarzo, Feldespato
AAMi6	Cuarzo, Caolinita, Feldespato, Illita, Vermiculita
AAMi11	Illita, Cuarzo
AAMi37	Vermiculita, Cuarzo, Diásporo, Hematita, Calcita, Feldespato
AAMi38	Vermiculita, Illita (poca), Cuarzo, Feldespato
AAMi39	Vermiculita, Illita (poca), Cuarzo, Feldespato
AAMi40	Vermiculita, Illita (poca), Caolinita, Cuarzo, Feldespato
AAMi41	Montmorillonita, Illita, Cuarzo, Calcita, Feldespato, Clorita
AAMi42	Vermiculita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Calcita
AAMi43	Vermiculita, Montmorillonita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Goethita
AAMi44	Caolinita, Illita, Cuarzo, Feldespato
AAMi53	Vermiculita, Illita, Caolinita, Cuarzo, Feldespato (poco)
AAMi54	Vermiculita, Montmorillonita, Illita, Cuarzo, Feldespato
AAMi55	Caolinita, Illita, Cuarzo
AAMi56	Vermiculita, Clorita, Illita (poca), Cuarzo, Feldespato, Dolomita (posible), Caolinita (poca)
AAMi57	Vermiculita, Clorita, Cuarzo, Feldespato, Goethita, Caolinita (poca)

Tabla #4.9. Mineralogía de las muestras de Barlovento Norte. Continuación

Muestra	Mineralogía total
AAMi58	Vermiculita, Clorita (posible), Illita (poca), Cuarzo, Feldespato, Caolinita (poca)
AAMi59	Cuarzo, Illita, Feldespato, Vermiculita, Montmorillonita
AAMi60	Caolinita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Goethita
AAMi61	Vermiculita, Caolinita, Illita, Cuarzo, Goethita, Calcita, Feldespato
AAMi62	Vermiculita, Caolinita (poca), Illita, Cuarzo, Dolomita
AAMi63	Vermiculita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Hematita
AAMi64	Vermiculita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Hematita
AAMi65	Vermiculita, Illita, Yeso, Cuarzo, Diásporo, Calcita, Feldespato
AAMi66	Vermiculita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Calcita
AAMi67	Vermiculita, Illita, Yeso, Cuarzo, Feldespato, Calcita

Los minerales más abundantes son el cuarzo y feldespato característico de las rocas sedimentarias que afloran en esta sección de la cuenca; sin embargo, los minerales de arcilla presentan menos homogeneidad haciendo la salvedad de la Illita que se encuentra en casi todas las muestras. A continuación, se mostrarán las características de los cinco minerales de arcilla presentes en esta sección de la cuenca.

IV.2.1.1.1 Illita

La illita es el mineral de arcilla más abundante entre las muestras de este sector de la cuenca. Aparece en 25 de las 27 muestras; estas son las que están en la tabla #4.10.

Tabla #4.10. Muestras con illita en Barlovento Norte

Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
AAMi1	AAMi38	AAMi42	AAMi54	AAMi59	AAMi63
AAMi2	AAMi39	AAMi43	AAMi55	AAMi60	AAMi64
AAMi6	AAMi40	AAMi44	AAMi56	AAMi61	AAMi65
AAMi11	AAMi41	AAMi53	AAMi58	AAMi62	AAMi66

Si bien se encuentra en casi todas las muestras de la cuenca, hay algunas donde su presencia parece relativamente poca según las fichas de INVESTI.

La figura #4.15 expone el mapa de la cuenca con las muestras a las cuales se les detectó el mineral de illita en el difractograma.

A su vez, la figura #4.16. muestra el mapa geológico de la cuenca permitiendo identificar las formaciones sedimentarias donde se tomó la muestra y se identificó el mineral; esto será de utilidad en capítulos posteriores para realizar el análisis de las muestras y determinar el posible origen de las arcillas, en este caso de la illita.

La figura #4.17 muestra el difractograma de la muestra total AAMi63 en el cual se identifican los picos de illita de primer y segundo orden a los 9° ($d = 9.81 \text{ \AA}$) y 17.8° ($d = 4.98 \text{ \AA}$) en el eje 2θ respectivamente.

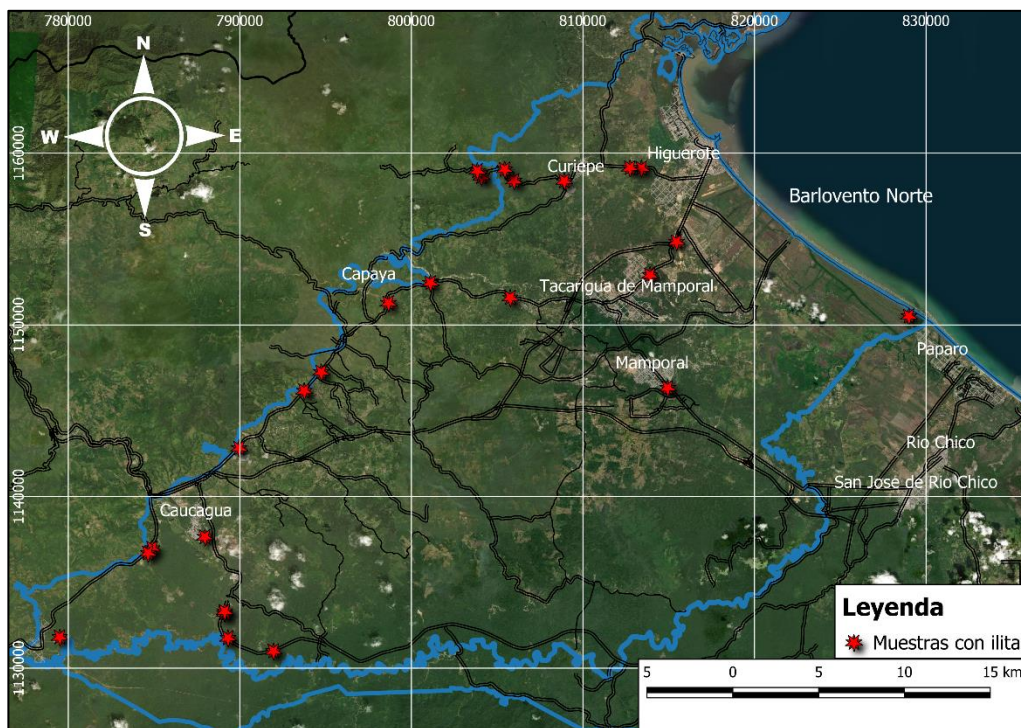


Figura #4.15. Mapa de ubicación de las muestras con illita en Barlovento Norte

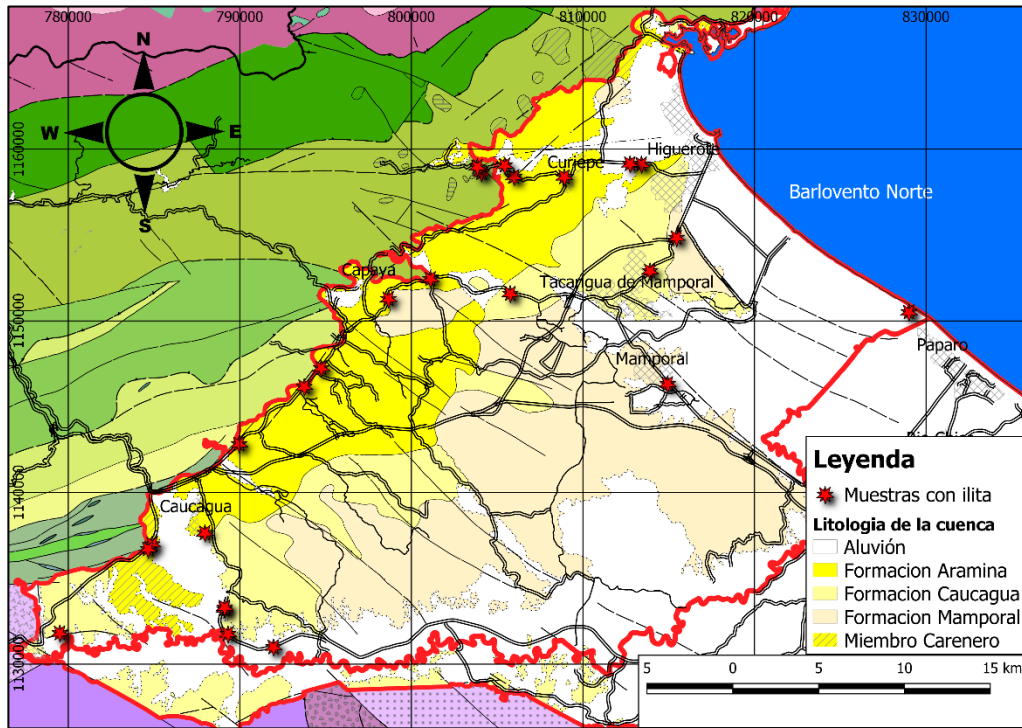


Figura #4.16. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con illita

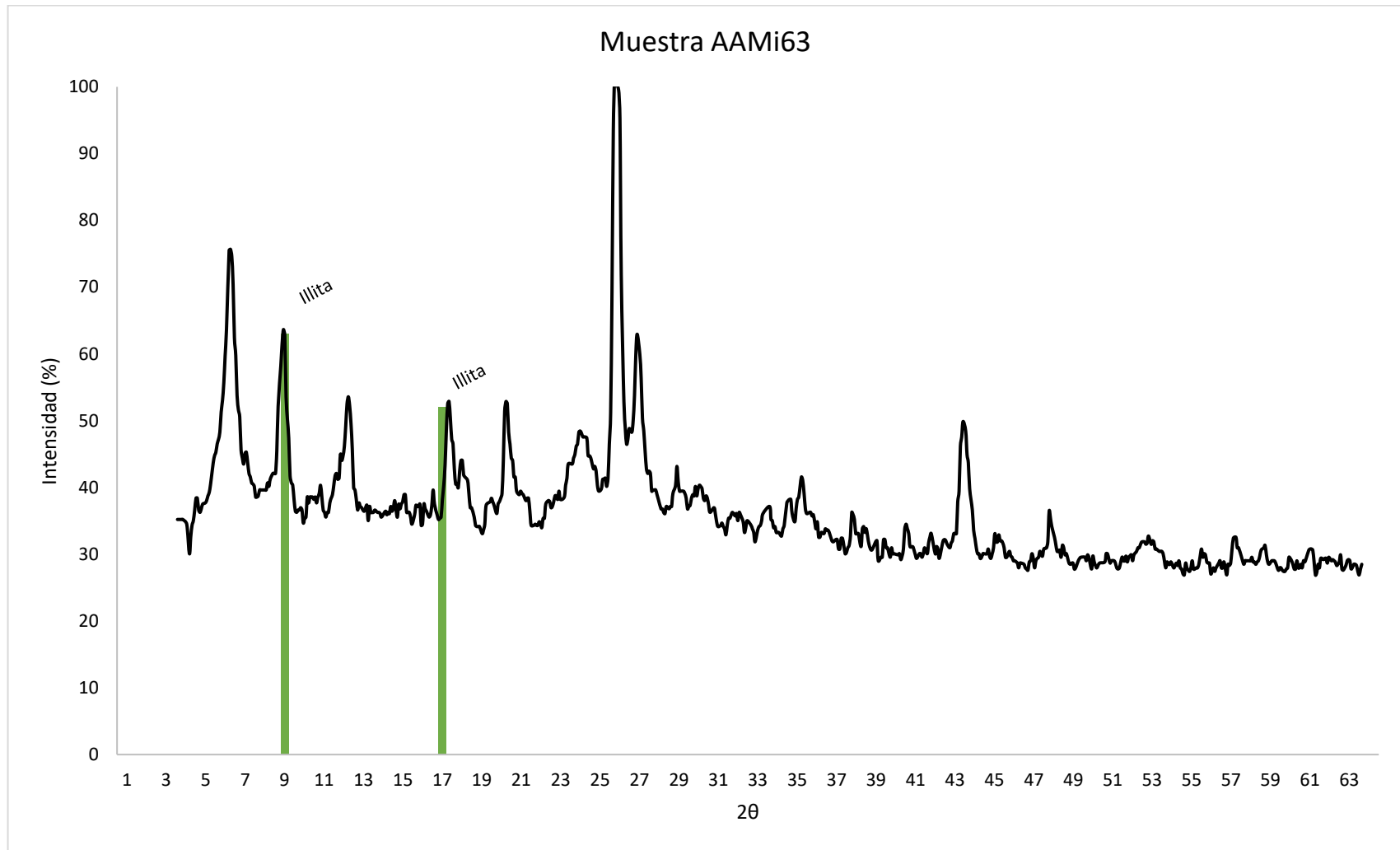


Figura #4.17. Difractograma de la muestra AAMi63 señalando los picos de illita

IV.2.1.1.2 Vermiculita

Este mineral se encuentra en las 21 muestras de la tabla #4.11 siendo el segundo más abundante

Tabla #4.11. Muestras con vermiculita en Barlovento Norte

Muestra	Muestra	Muestra
AAMi1	AAMi43	AAMi61
AAMi6	AAMi53	AAMi62
AAMi37	AAMi54	AAMi63
AAMi38	AAMi56	AAMi64
AAMi39	AAMi57	AAMi65
AAMi40	AAMi58	AAMi66
AAMi42	AAMi59	AAMi67

La figura #4.18 ilustra la distribución de las muestras que contienen vermiculita en la cuenca Barlovento Norte; destaca la ausencia en la zona de Mamporal.

La figura #4.19 es el mapa geológico de la cuenca con las formaciones sedimentarias que ahí se encuentran, y con las muestras las cuales se logró identificar vermiculita en los difractogramas en muestra total y glicolada

En la figura #4.20 aparece el difractograma de la muestra AAMi40 indicando el pico de la vermiculita en ensayo a muestra total y glicolada; este mineral se identifica por el pico entre los 5.6° y los 6.4° en el eje 2θ (valores de d que oscilan entre los 14 y 15 Å) que se mantiene prácticamente inalterado en el ensayo glicolado permitiendo diferenciarlo de la montmorillonita.

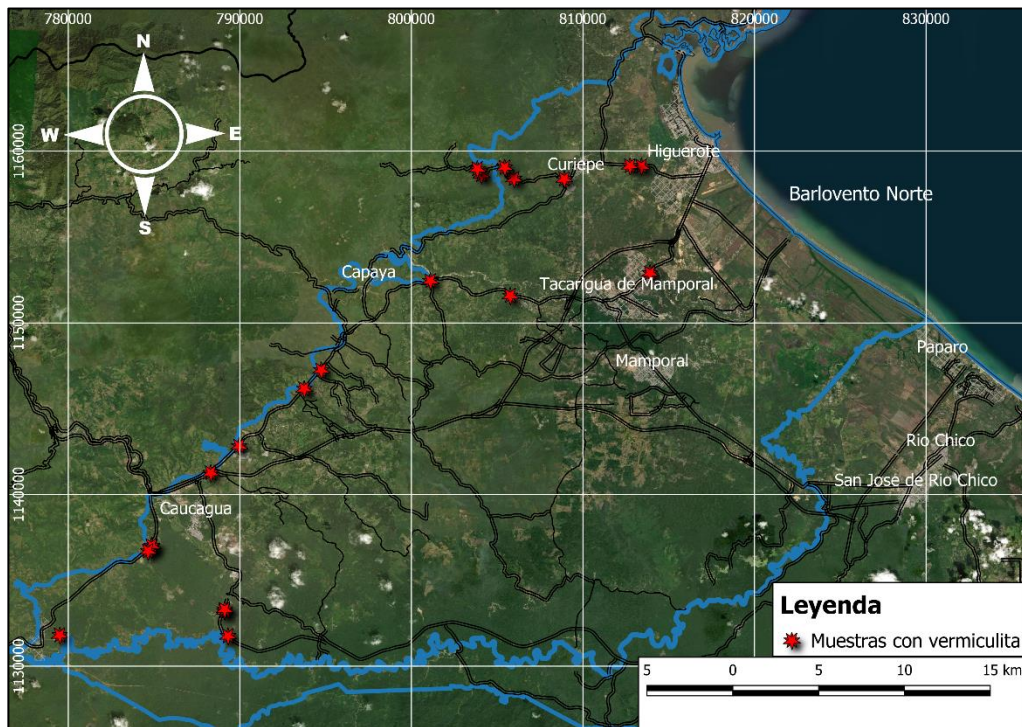


Figura #4.18. Mapa de Ubicación de las muestras con vermiculita en Barlovento Norte

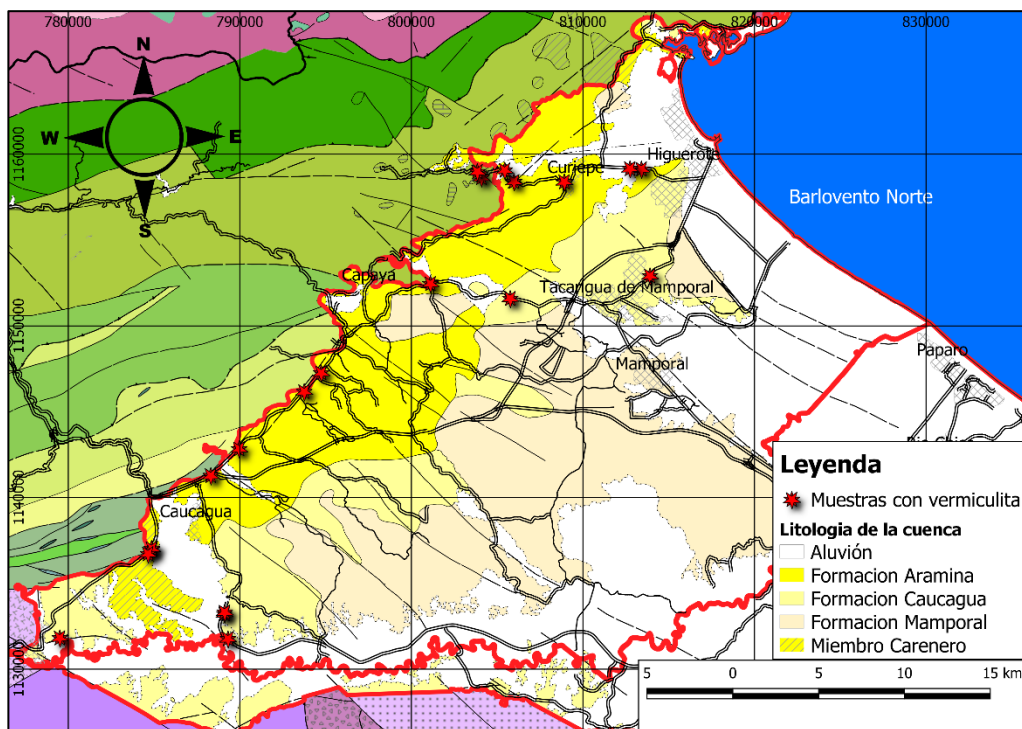


Figura #4.19. Mapa geol3gico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con vermiculita

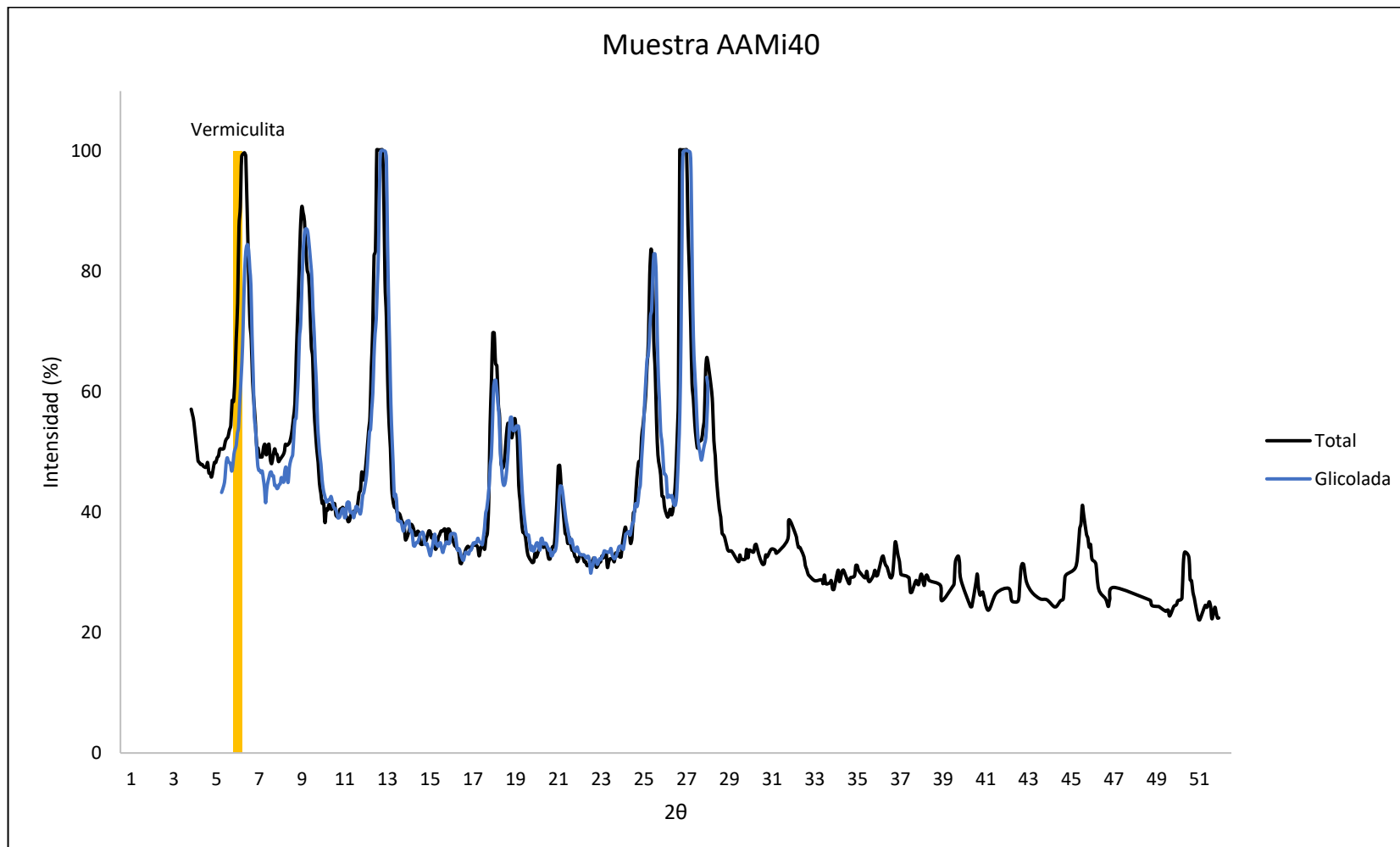


Figura #4.20. Difractograma de la muestra AAMi40 señalando los picos de vermiculita

IV.2.1.1.3 Caolinita

La caolinita se identificó en un total de 12 muestras las cuales se aparecen en la tabla #4.12.

Tabla #4.12. Muestras con caolinita en Barlovento Norte

Muestra	Muestra	Muestra
AAMi2	AAMi53	AAMi58
AAMi6	AAMi55	AAMi60
AAMi40	AAMi56	AAMi61
AAMi44	AAMi57	AAMi62

En la figura #4.21 se observa una imagen satelital de la cuenca Barlovento Norte con la ubicación de las doce muestras que contienen caolinita.

La figura #4.22 ilustra el mapa geológico de la cuenca con las formaciones sedimentarias y las muestras en las cuales se detectó caolinita; destaca que estas se concentran en las formaciones más jóvenes y en el Miembro Carnero de la Formación Caucagua.

En el difractograma de la muestra AAMi60 (figura #4.23) se identifican los picos de caolinita de primer y segundo orden en los ángulos 12.2° y 24.9° del eje 2θ respectivamente (espaciamentos de 7.2 y 3.57 Å) en el ensayo de muestra total.

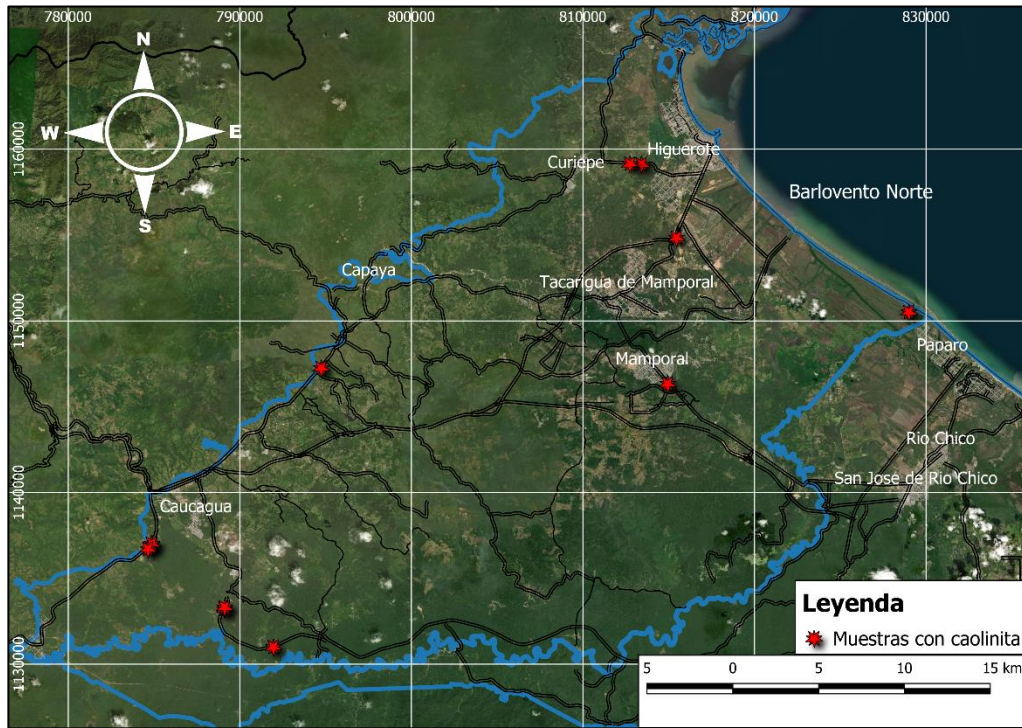


Figura #4.21. Mapa de Ubicación de las muestras con caolinita en Barlovento Norte

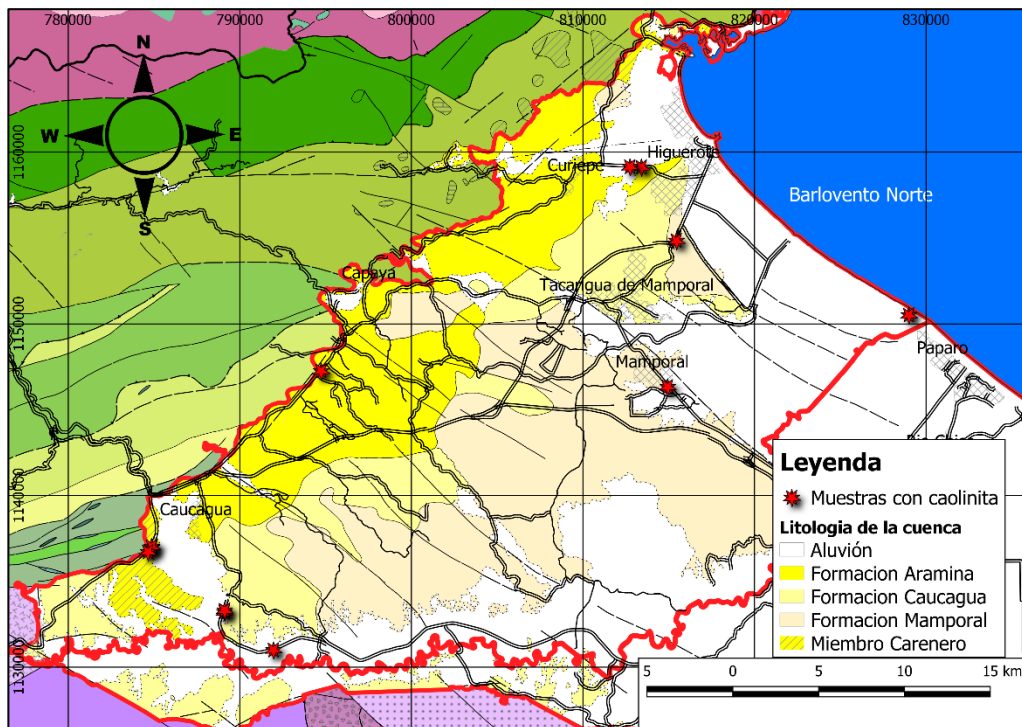


Figura #4.22. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con caolinita

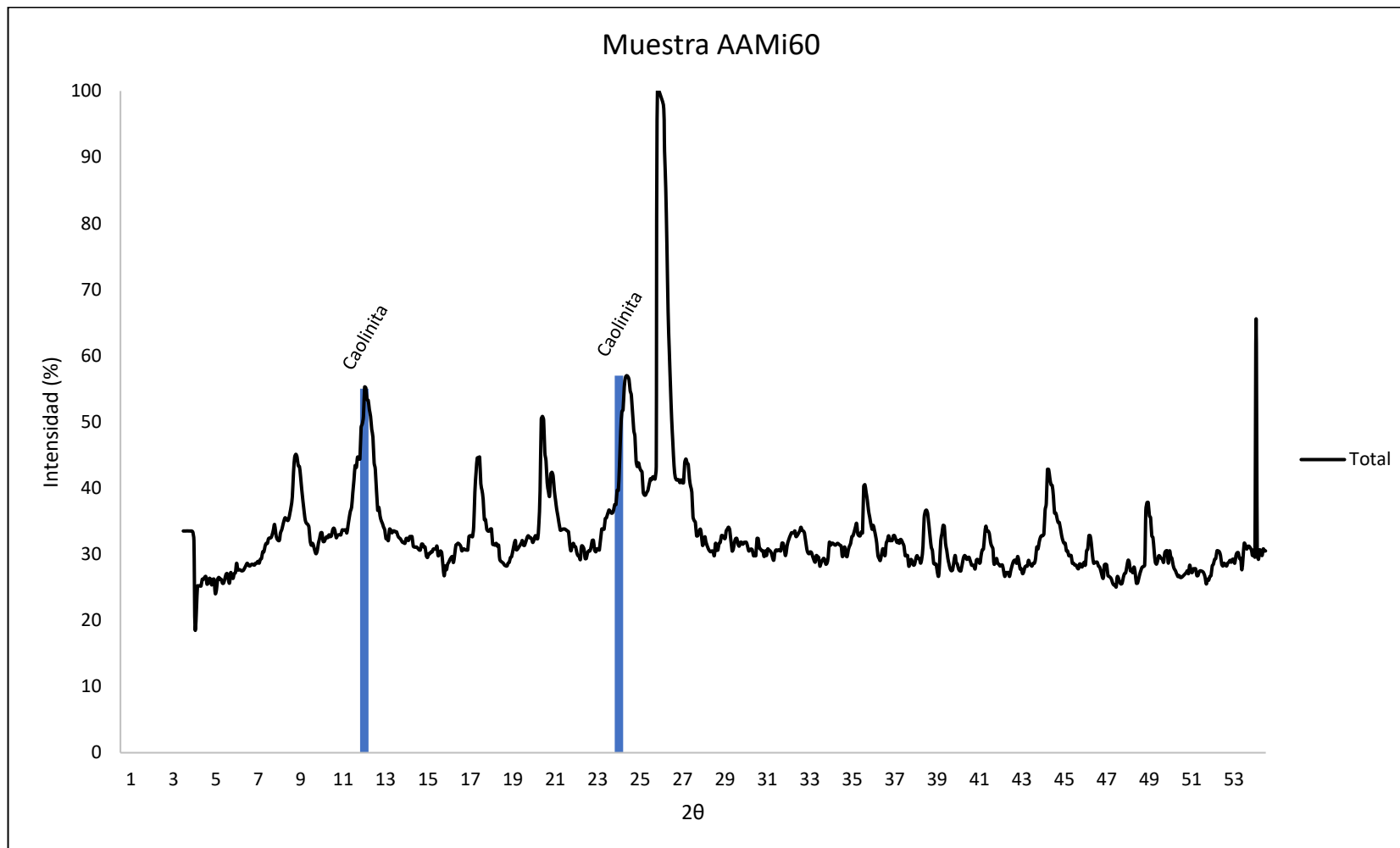


Figura #4.23. Difractograma de la muestra AAMi60 señalando los picos de caolinita

IV.2.1.1.4 Montmorillonita

La montmorillonita se encuentra presente en seis muestras (aunque en la AAMi1 no se logró diferenciar totalmente de la vermiculita) las cuales se encuentran reflejadas en la tabla #4.13.

Tabla #4.13. Muestras con montmorillonita en Barlovento Norte

Muestra	Muestra
AAMi1	AAMi43
AAMi2	AAMi54
AAMi41	AAMi59

La figura #4.24 es una imagen satelital con las muestras de arcilla que contienen montmorillonita ubicadas en su posición. Es importante resaltar que las mismas se concentran cerca de los ríos principales de la cuenca que son el río Tuy y el río Capaya los cuales se encuentran señalados en la figura.

En el mapa geológico de la cuenca (figura #4.25) se ven las muestras con montmorillonita destacando que fueron recolectadas en zonas donde aflora la Formación Caucagua y sedimentos aluviales recientes.

La figura #4.26 ilustra los difractogramas total y glicolada de la muestra AAMi54 destacando los picos de la montmorillonita a los 5.2° y 6° en el eje 2θ respectivamente (espaciamiento de 14,7 y 17 Å). Este desplazamiento es resultado de la interacción entre el mineral y el etilenglicol permitiendo diferenciarlo del pico de la vermiculita que no sufre prácticamente desplazamiento.

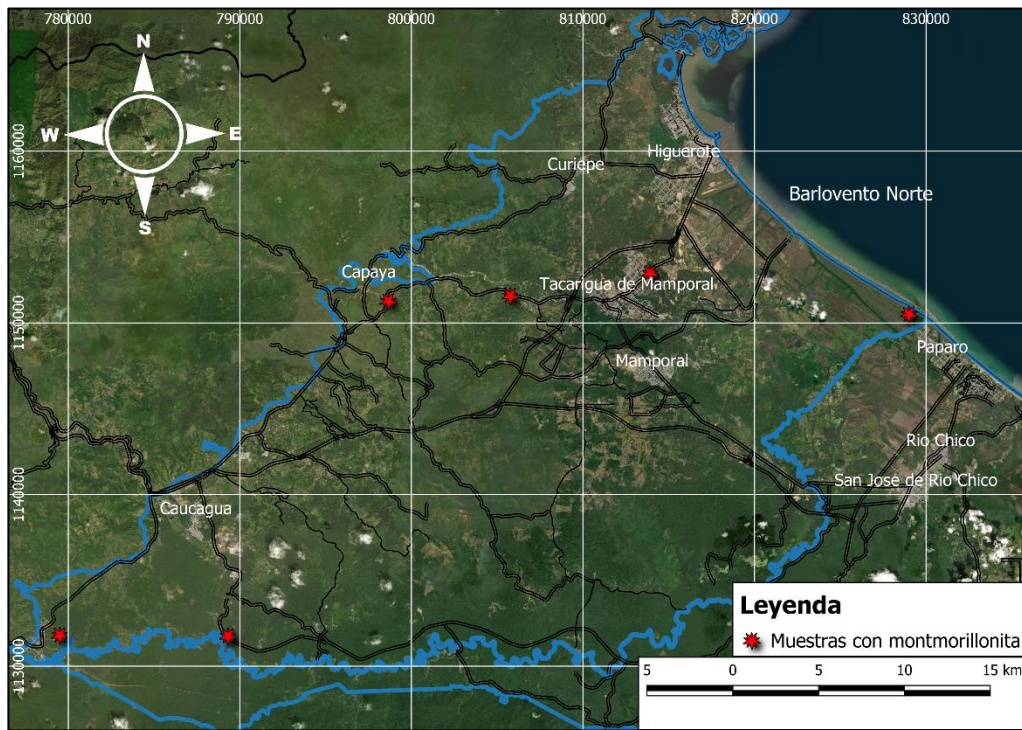


Figura #4.24. Mapa de Ubicación de las muestras con montmorillonita en Barlovento Norte

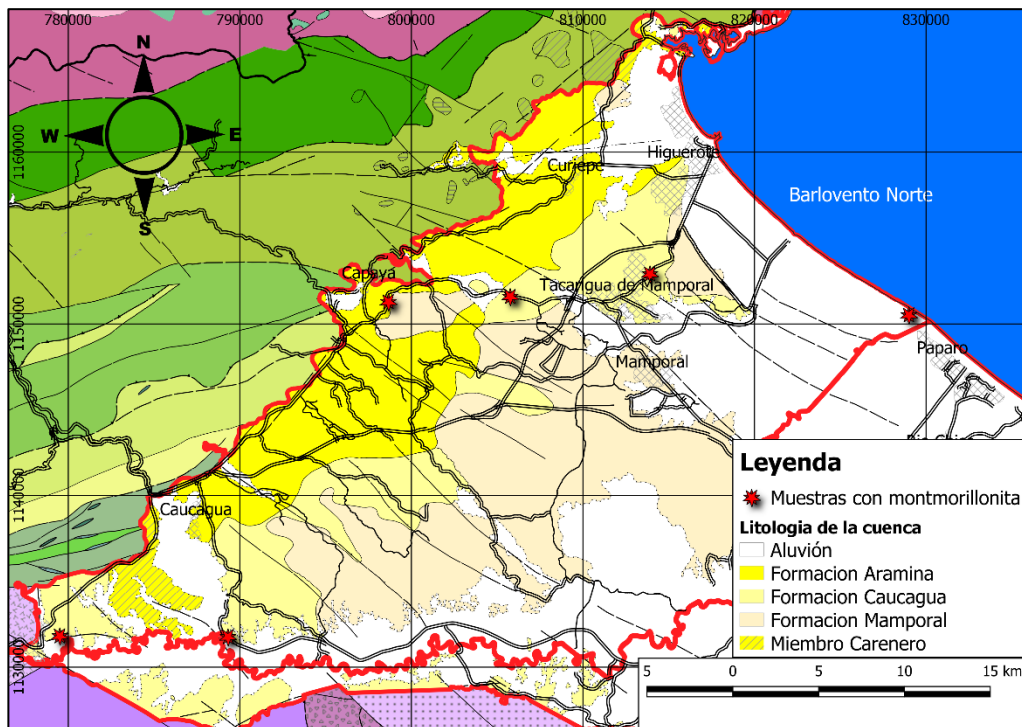


Figura #4.25. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con montmorillonita

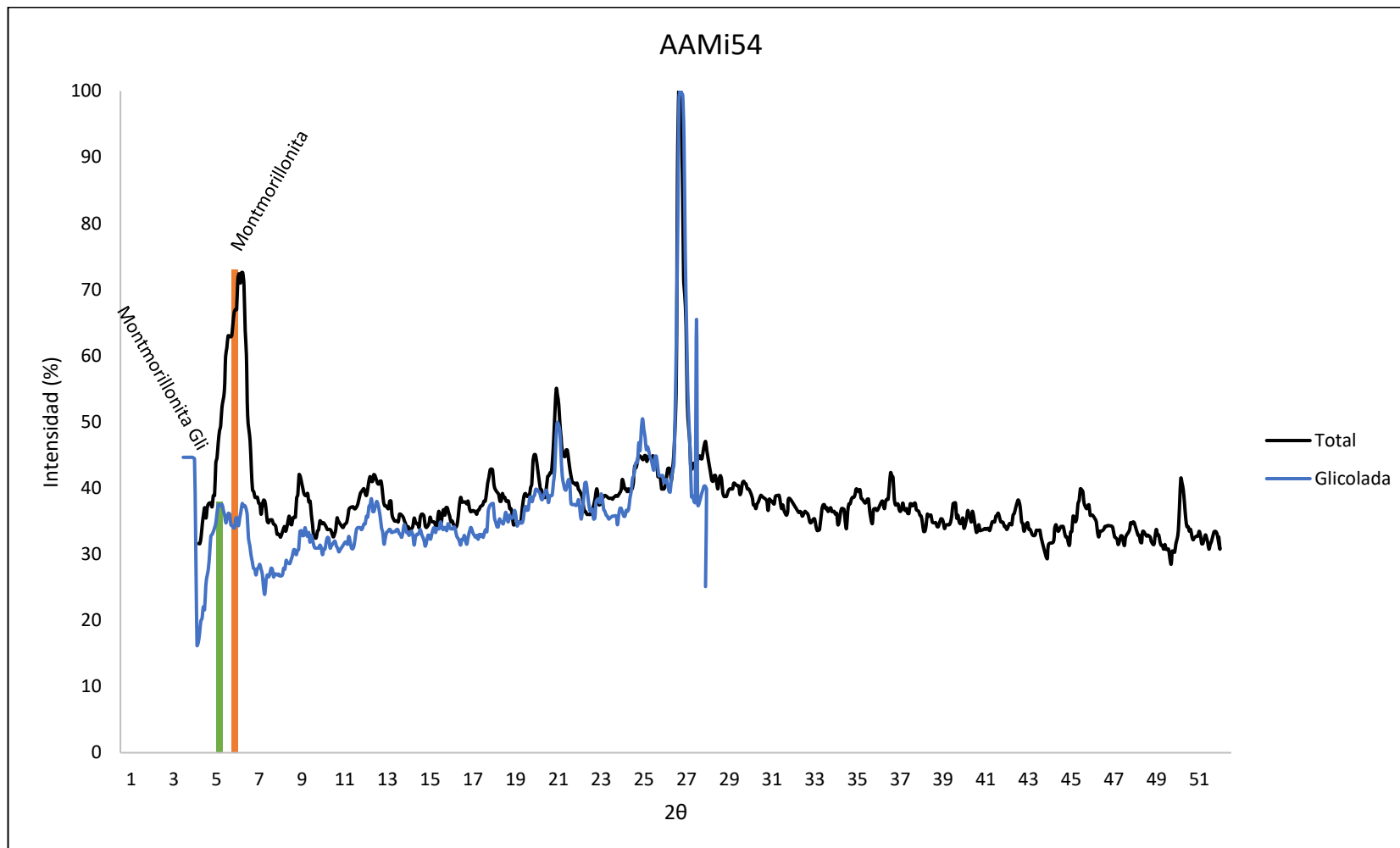


Figura #4.26. Difractograma de la muestra AAMi54 señalando los picos de montmorillonita

IV.2.1.1.5 Clorita

La clorita es el mineral de arcilla que aparece en menos cantidad de muestras en la cuenca; están en las cuatro que se observan en la tabla #4.14.

Tabla #4.14. Muestras con clorita en Barlovento Norte

Muestras
AAMi41
AAMi56
AAMi57
AAMi58

La figura #4.27 se trata de una imagen satelital con las muestras de arcilla ubicadas en la cuenca las cuales se encuentran cerca de la localidad de Capaya y Caucagua.

En la figura #4.28 se ilustra el mapa geológico de la cuenca con las muestras que contienen corita; destaca que tres de las cuatro fueron recolectadas en el Miembro Carnero.

En los difractogramas total y glicolado de la muestra AAMi57 (figura #4.29) aparece el pico de clorita que se puede confundir con el de la vermiculita, y en el caso de esta muestra se interpretó la existencia de ambos minerales, especialmente porque en el difractograma glicolado el pico se encuentra a los 6° exactos del eje 2θ (espaciamiento de 14.7 \AA) lo cual es característico de la clorita, aunque también está en el rango de la vermiculita. En el difractograma de muestra total aparece en el pico bastante intenso de 5.8° en el eje 2θ (espaciamiento de 15.2 \AA); por lo que la expansión es mínima así que se descarta la existencia de montmorillonita. A pesar de todo esto, es recomendable hacer otros ensayos para poder determinar si verdaderamente hay clorita en las muestras con este tipo de patrones.

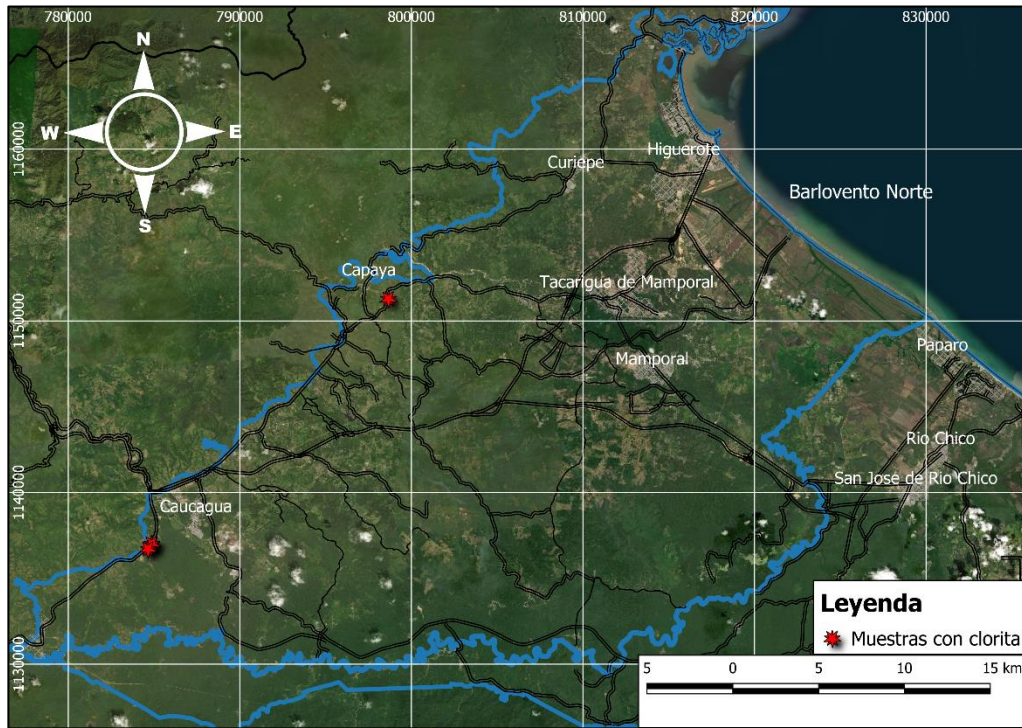


Figura #4.27. Mapa de Ubicación de las muestras con clorita en Barlovento Norte

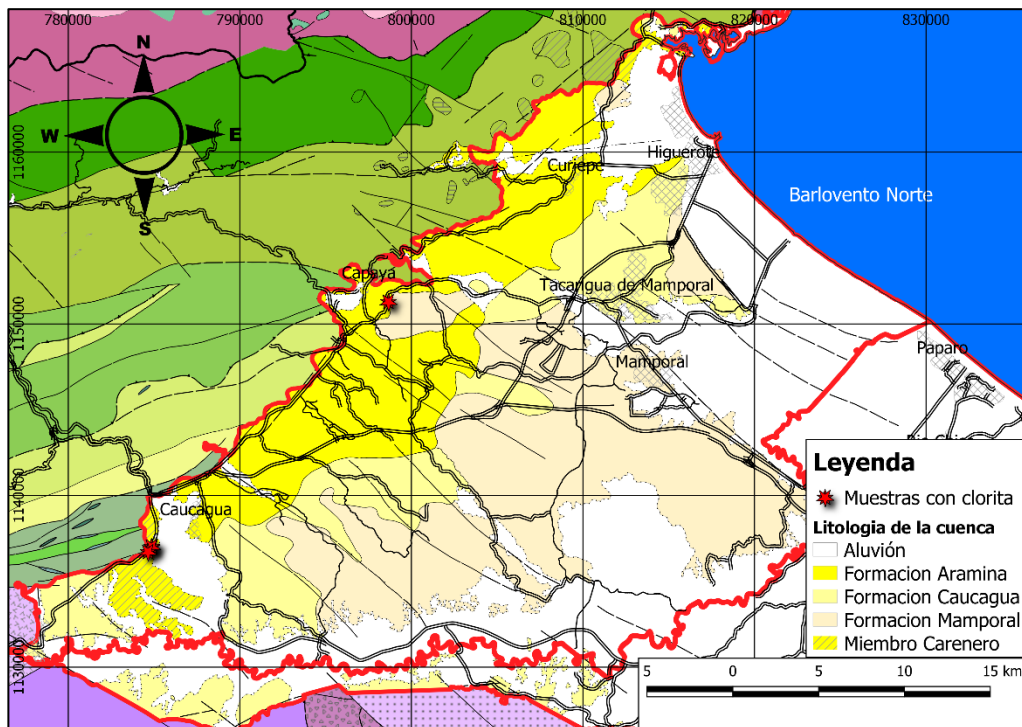


Figura #4.28. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Norte con muestras con clorita

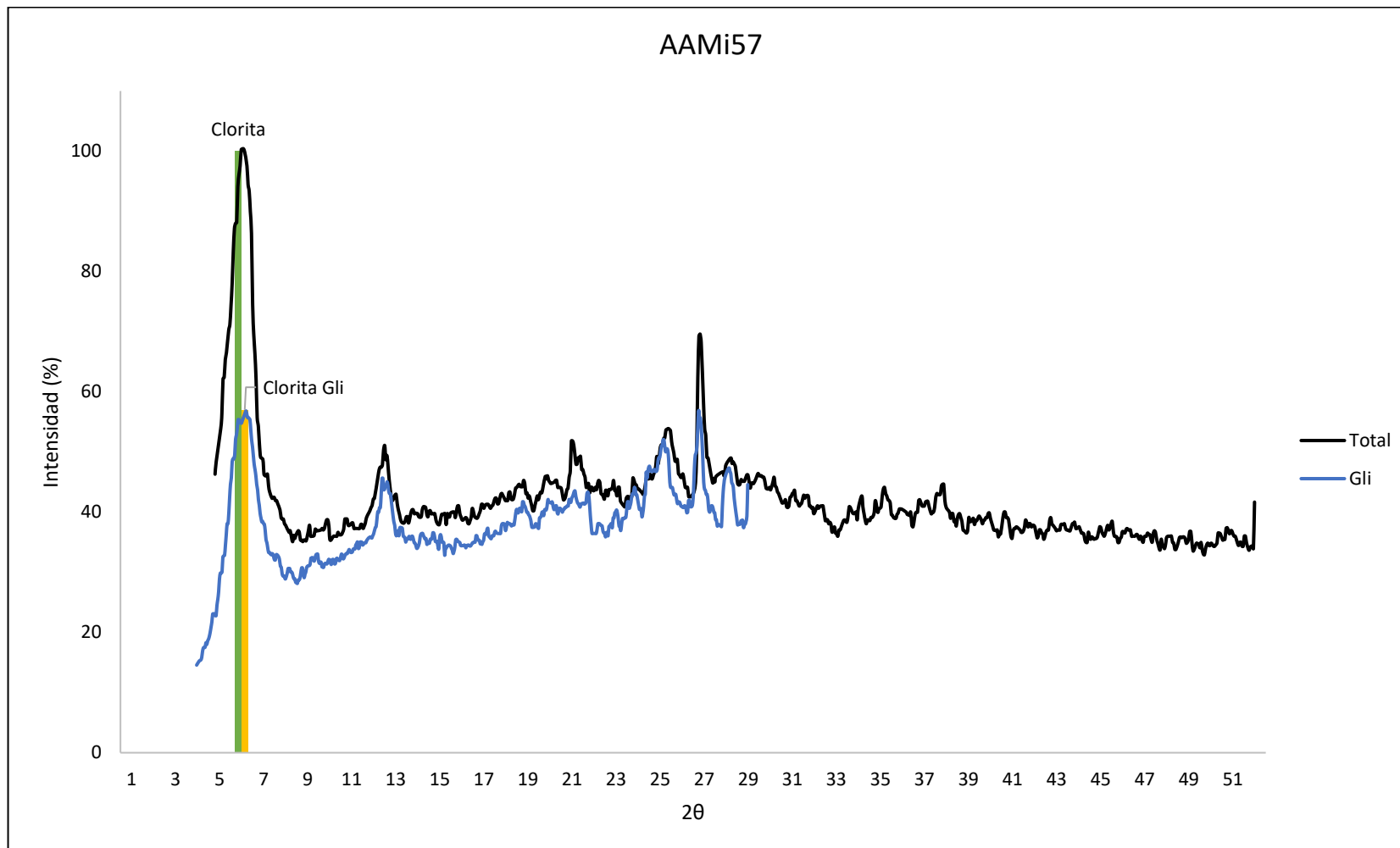


Figura #4.29. Difractograma de la muestra AAMi57 señalando los picos de clorita

IV.2.1.2 Muestras de la cuenca Barlovento Sur

La tabla #4.15 presenta la mineralogía de las muestras recolectadas en la cuenca Barlovento Sur, las cuales contabilizan un total de 12.

Tabla #4.15. Mineralogía de las muestras de Barlovento Sur.

Muestra	Mineralogía total
AAMi69	Vermiculita, Caolinita, Illita (posible), Cuarzo, Feldespato
AAMi70	Caolinita, Illita, Vermiculita (posible), Cuarzo
AAMi71	Cuarzo, Caolinita, Illita, Vermiculita (posible), Montmorillonita(posible)
AAMi72	Vermiculita, Caolinita, Illita, Cuarzo
AAMi73	Vermiculita, Caolinita (posible), Illita (poca), Cuarzo
AAMi74	Vermiculita, Caolinita, Illita, Cuarzo, Feldespato
AAMi75	Vermiculita, Caolinita, Illita, Cuarzo
AAMi76	Vermiculita, Caolinita, Illita, Cuarzo, Feldespato
AAMi77	Cuarzo, Illita, Caolinita, Vermiculita (poca)
AAMi78	Cuarzo, Illita, Caolinita, Vermiculita (poca)
AAMi79	Montmorillonita, Caolinita, Cuarzo, Feldespato
AAMi80	Montmorillonita, Caolinita, Feldespato, Cuarzo

Al igual que la cuenca de Barlovento Norte, los minerales más abundantes son el cuarzo y feldespato; sin embargo, respecto a los minerales de arcilla la caolinita se convierte en el mineral con mayor presencia mientras que la illita y vermiculita aparecen en todas las muestras excepto la AAMi79 y AAMi80 que se ubican en el mismo punto en el límite de la cuenca. Otro aspecto importante es que la clorita no se detectó en ninguna muestra.

IV.2.1.2.1 Caolinita

Este mineral se encuentra en las 12 muestras de la cuenca, siendo el más común tal como se observa en la tabla #4.16.

Tabla #4.16. Muestras con caolinita en Barlovento Sur

Muestra	Muestra	Muestra
AAMi69	AAMi73	AAMi77
AAMi70	AAMi74	AAMi78
AAMi71	AAMi75	AAMi79
AAMi72	AAMi76	AAMi80

La figura #4.30 ilustra una imagen satelital con las doce muestras que tienen caolinita en la cuenca Barlovento Sur.

El mapa geológico de la cuenca de la figura #4.31 contiene las muestras a las cuales se les determinó la presencia de caolinita.

Al igual que con las muestras de la cuenca Barlovento Norte, la caolinita se identificó por los picos en los ángulos cercanos a los 12° en el eje 2θ (alrededor de 7 y 7.2 \AA de espaciamiento interplanar). El difractograma de la muestra AAMi70 presenta estos picos bien señalados tal como se observa en la figura #4.32.

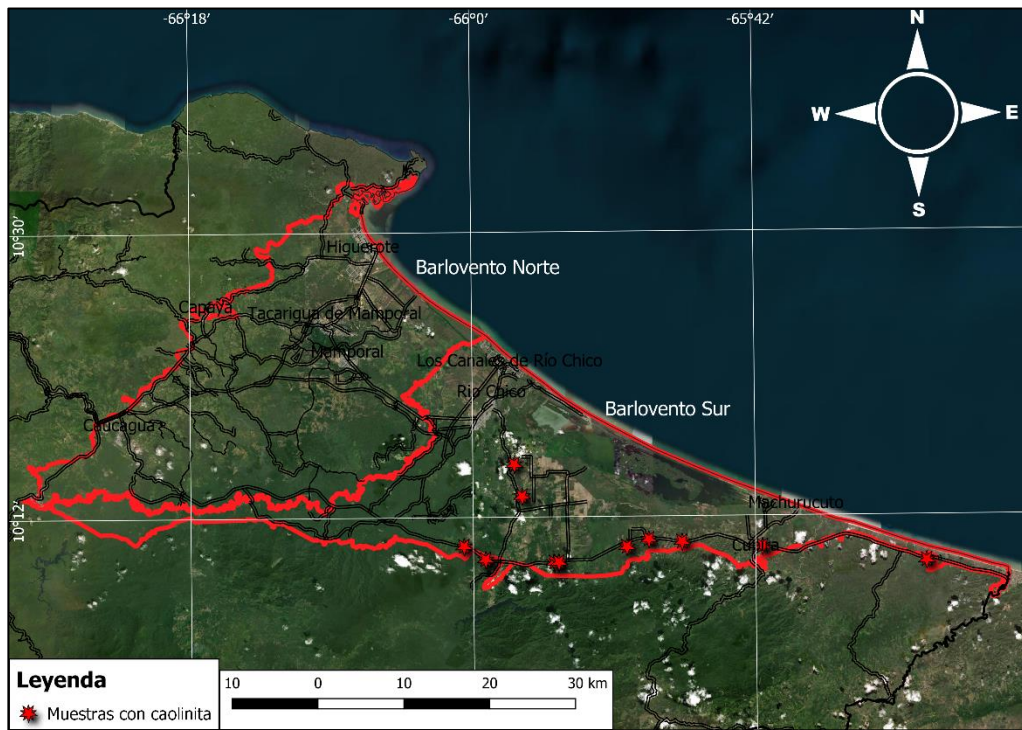


Figura #4.30. Mapa de Ubicación de las muestras con caolinita en Barlovento Sur

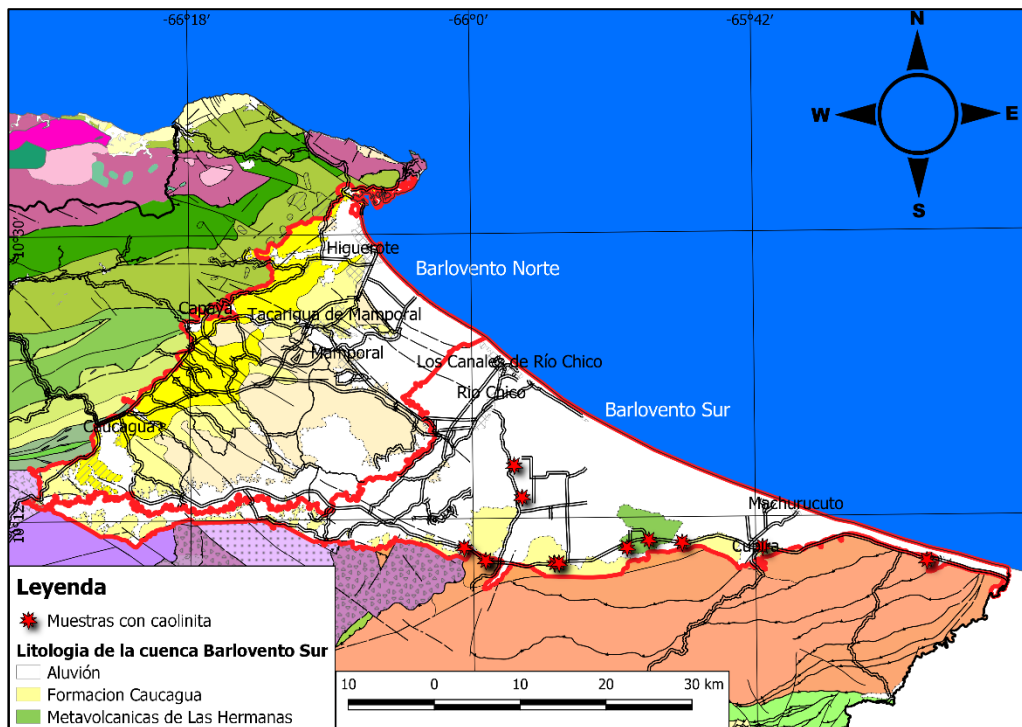


Figura #4.31. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Sur con muestras con caolinita

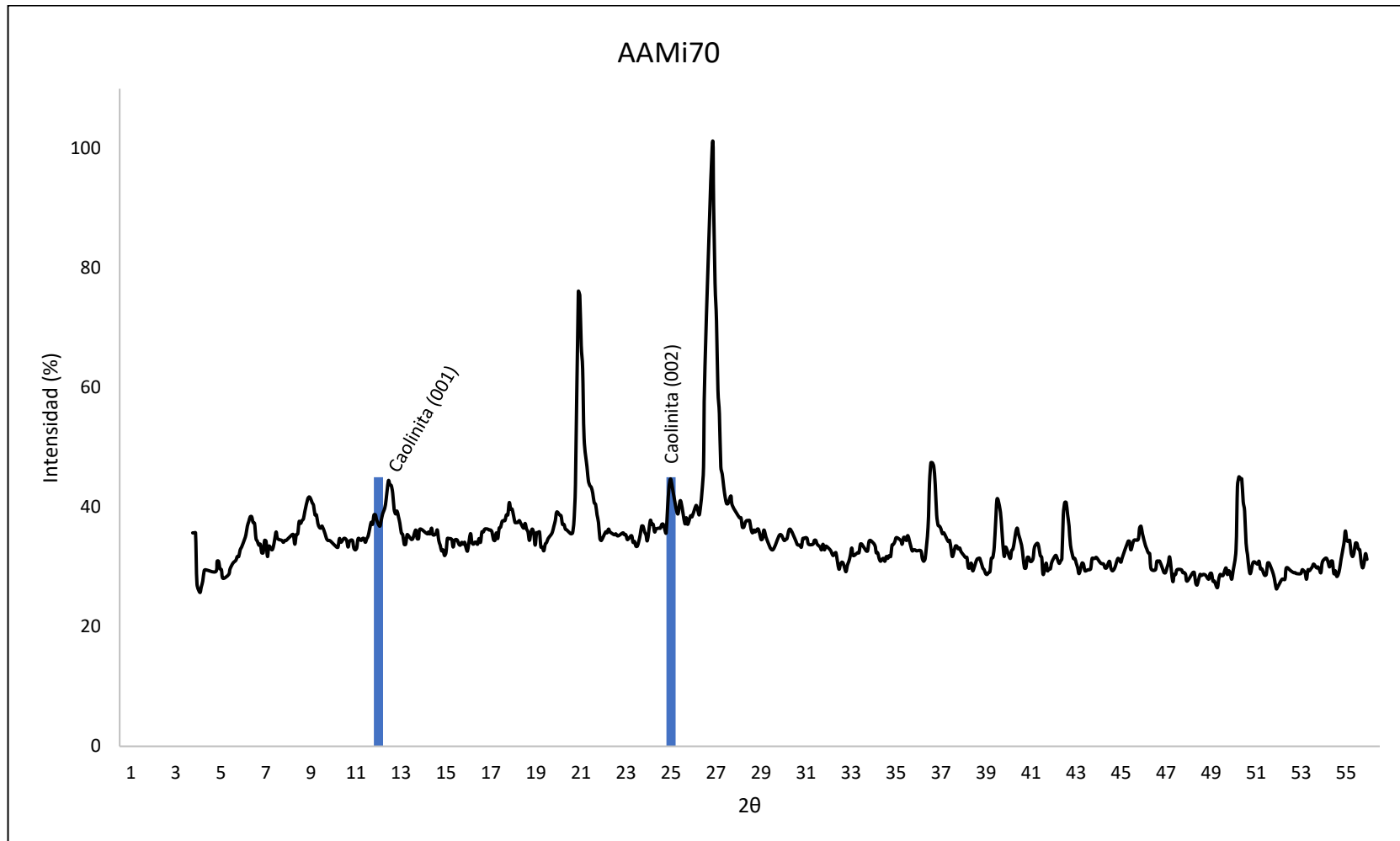


Figura #4.32. Difractograma de la muestra AAMi70 señalando los picos de caolinita

IV.2.1.2.2 Illita

El mineral de illita aparece en diez de las doce muestras como se observa en la tabla #4.17; las únicas en las que no aparece son la AAMi79 y la AAMi80 que se recolectaron en el mismo punto en el límite sur de la cuenca.

Tabla #4.17. Muestras con illita en Barlovento Sur

Muestra	Muestra
AAMi69	AAMi74
AAMi70	AAMi75
AAMi71	AAMi76
AAMi72	AAMi77
AAMi73	AAMi78

En la figura #4.33 se muestra una imagen satelital indicando los sitios donde se recolectaron muestras de arcilla las cuales se determinó la presencia de illita en su mineralogía.

La figura #4.34 se trata del mapa geológico de la cuenca Barlovento Sur con las muestras ubicadas en su lugar de recolección. Se debe destacar que el único sitio donde no se logró determinar la presencia de illita (muestras AAMi79 y AAMi80) corresponde al lugar más cercano a la Formación El Guapo ubicada al sur de la cuenca.

En el difractograma de la muestra AAMi74 (figura #4.35) se señala de manera clara los picos de la illita de primer y segundo orden en los ángulos 8.9° y 17.9° del eje horizontal 2θ (espaciados d de 9.9 y 4.95 Å respectivamente).

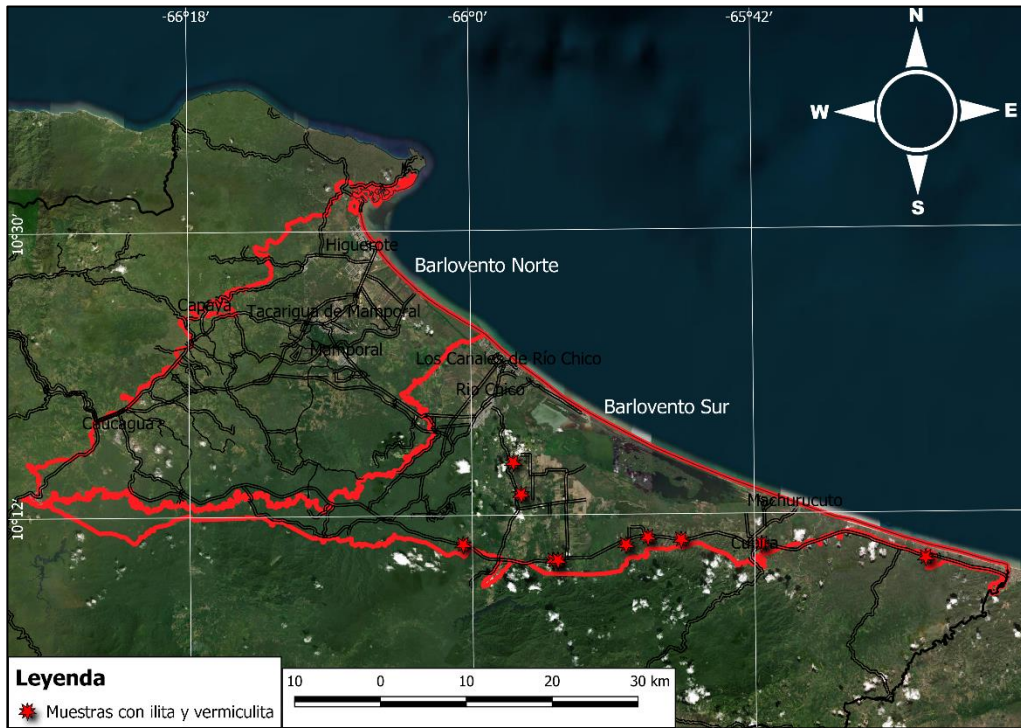


Figura #4.33. Mapa de Ubicación de las muestras con illita y vermiculita en Barlovento Sur

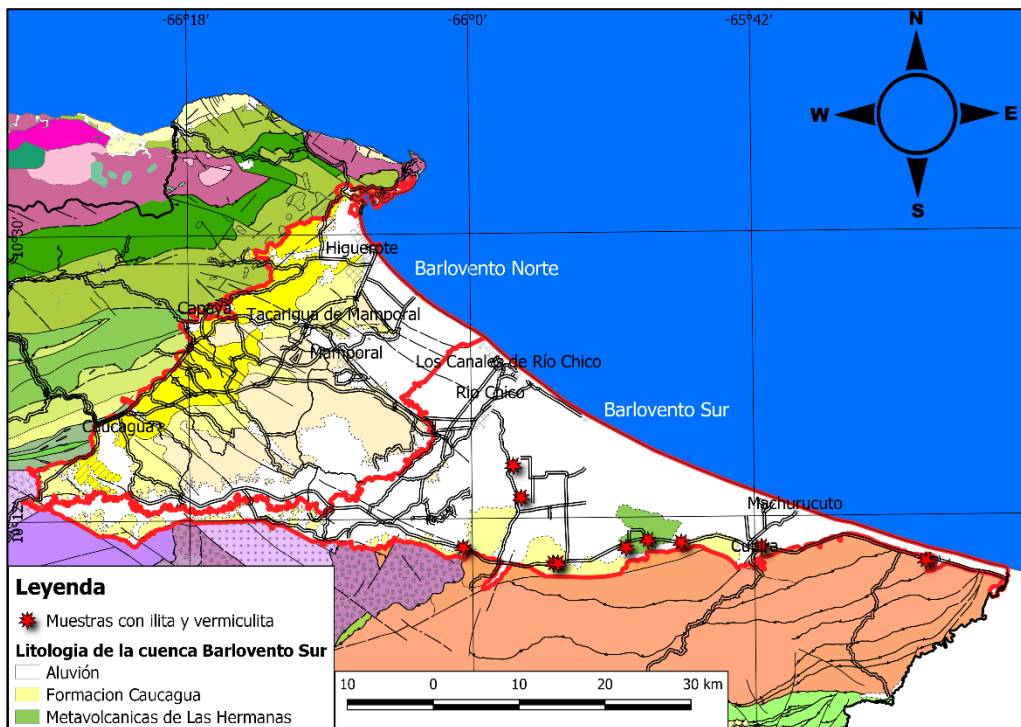


Figura #4.34. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Sur con muestras con illita y vermiculita

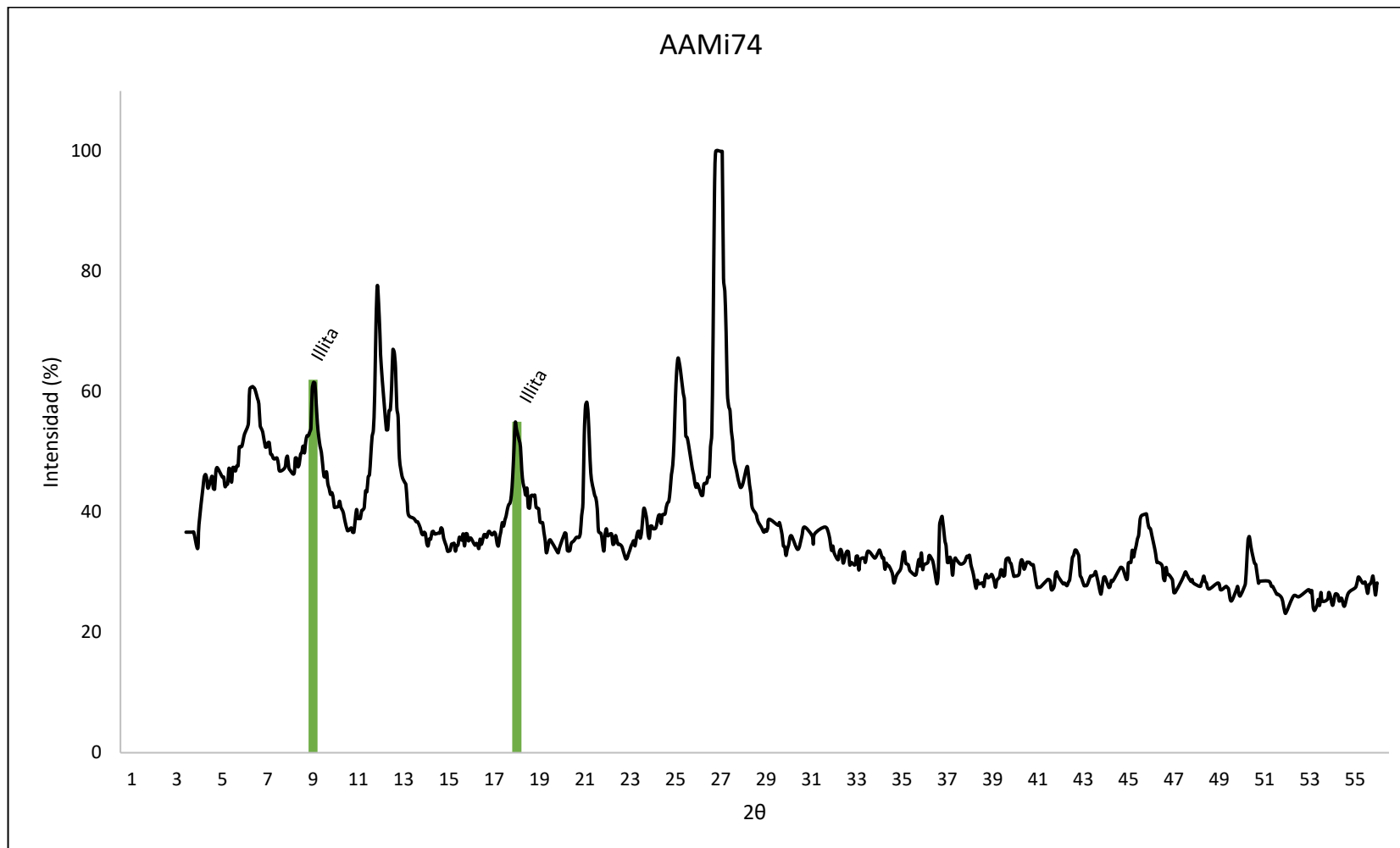


Figura #4.35. Difractograma de la muestra AAMi74 señalando los picos de illita

IV.2.1.2.3 Vermiculita

La vermiculita es un caso similar a la illita ya que aparece sólo en diez de las doce muestras, y no se encuentra en la AAMi79 y AAMi80 tal como se observa en la tabla #4.18.

Tabla #4.18. Muestras con vermiculita en Barlovento Sur

Muestra	Muestra
AAMi69	AAMi74
AAMi70	AAMi75
AAMi71	AAMi76
AAMi72	AAMi77
AAMi73	AAMi78

Tanto las imágenes satelitales como los mapas geológicos de la cuenca (figura #4.33 y #4.34 respectivamente) que contienen la ubicación de los puntos donde se recolectaron las muestras son similares a las mostradas con illita.

Los difractogramas que mejor muestran los patrones de la vermiculita son los de la muestra AAMi70 como se observa en la figura #4.36 en la cual se destacan los picos de la vermiculita en el difractograma total y glicolado permitiendo determinar el casi nulo desplazamiento del pico ya que en el primero se encuentra a los 6.3° en el eje 2θ (espaciamiento de 14 \AA) y en el glicolado aparece a los 6.4° (espaciamiento de 13.8 \AA); y ya que la diferencia entre el espaciamiento interplanar entre ambos difractogramas es despreciable se descarta la posibilidad de confundirlo con montmorillonita.

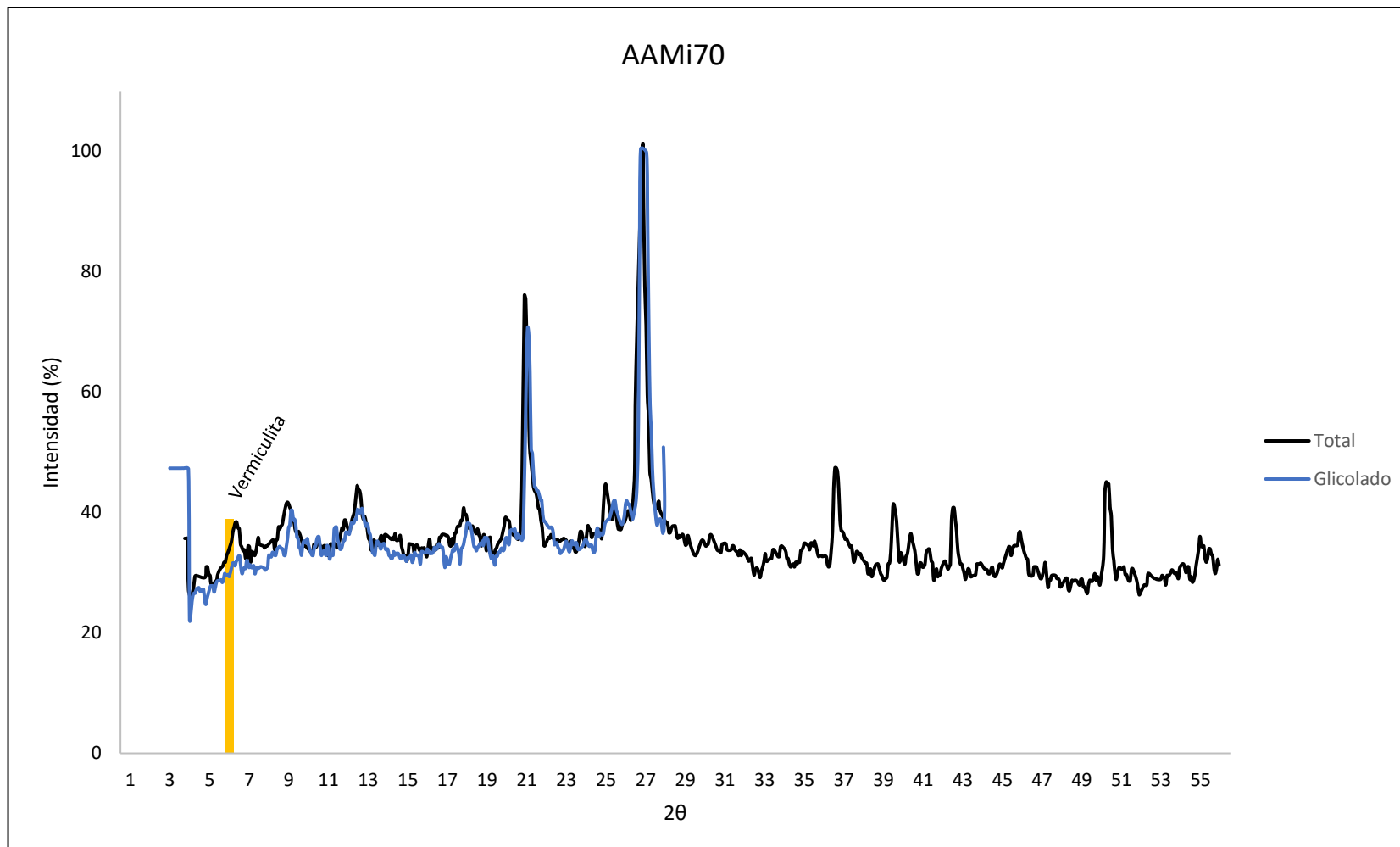


Figura #4.36. Difractograma de la muestra AAMi70 señalando los picos de vermiculita

IV.2.1.2.4 Montmorillonita

La montmorillonita es el mineral más escaso en la cuenca encontrándose únicamente en las muestras AAMi71, AAMi79 y AAMi80 como lo muestra la tabla #4.19; y en la muestra AAMi71 no se determinó de manera totalmente certera.

Tabla #4.19. Muestras con montmorillonita en Barlovento Sur

Muestra
AAMi71
AAMi79
AAMi80

La imagen satelital de la figura #4.37 contiene los puntos donde se recolectaron las muestras que contienen montmorillonita en su mineralogía; mientras que la figura #4.37 representa un mapa geológico de la cuenca con las mismas ubicaciones donde se recolectaron las muestras. Es importante destacar que la montmorillonita está presente en las muestras AAMi79 y AAMi80 que se encuentran ubicadas en el mismo punto en el límite sur de la cuenca en contacto con la Formación El Guapo; mientras que la muestra AAMi71 se recolectó en sedimentos recientes cercanos a drenajes provenientes del sur de la cuenca y que cortan a la misma formación sedimentaria.

Los difractogramas total y glicolado de la muestra AAMi80 (figura #4.39) ilustran de manera clara la expansión del pico de la montmorillonita ya que en el primero aparece a los 6° en el eje 2θ (espaciamiento interplanar de 14.7 \AA) mientras que en el segundo el pico hace su aparición ahora a los 4.8° en el eje 2θ (espaciamiento d de 18.3 \AA) mostrando una clara expansividad producto de la reacción con el etilenglicol; por lo que la posibilidad de que se trate de vermiculita queda descartada.



Figura #4.37. Mapa de Ubicación de las muestras con montmorillonita en Barlovento Sur

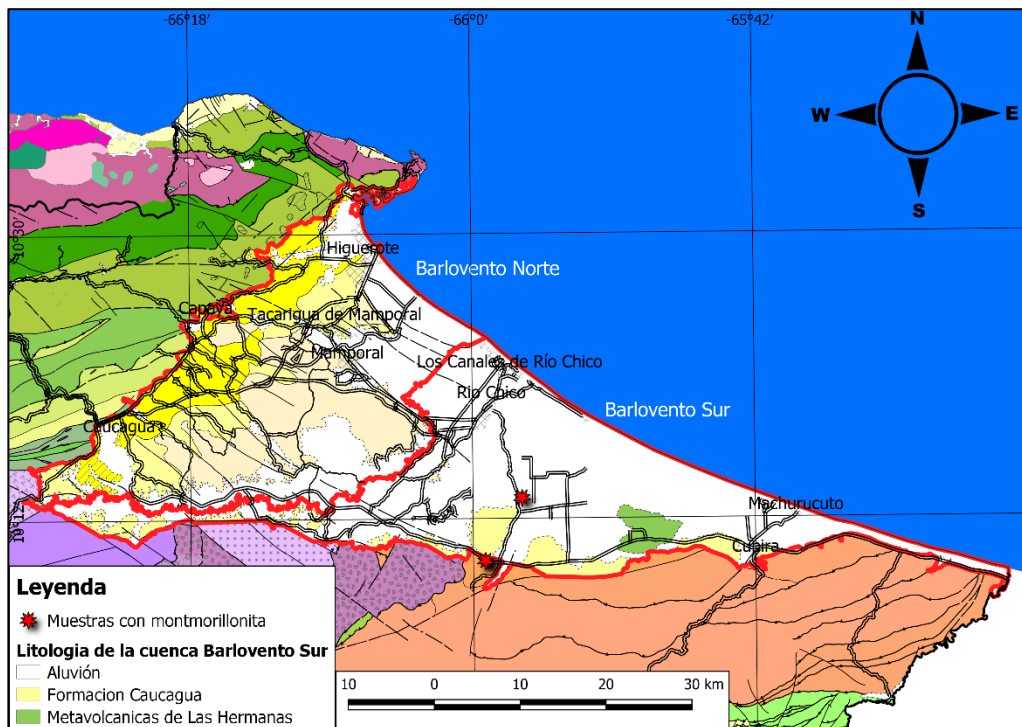


Figura #4.38. Mapa geológico de la cuenca Barlovento Sur con muestras con montmorillonita

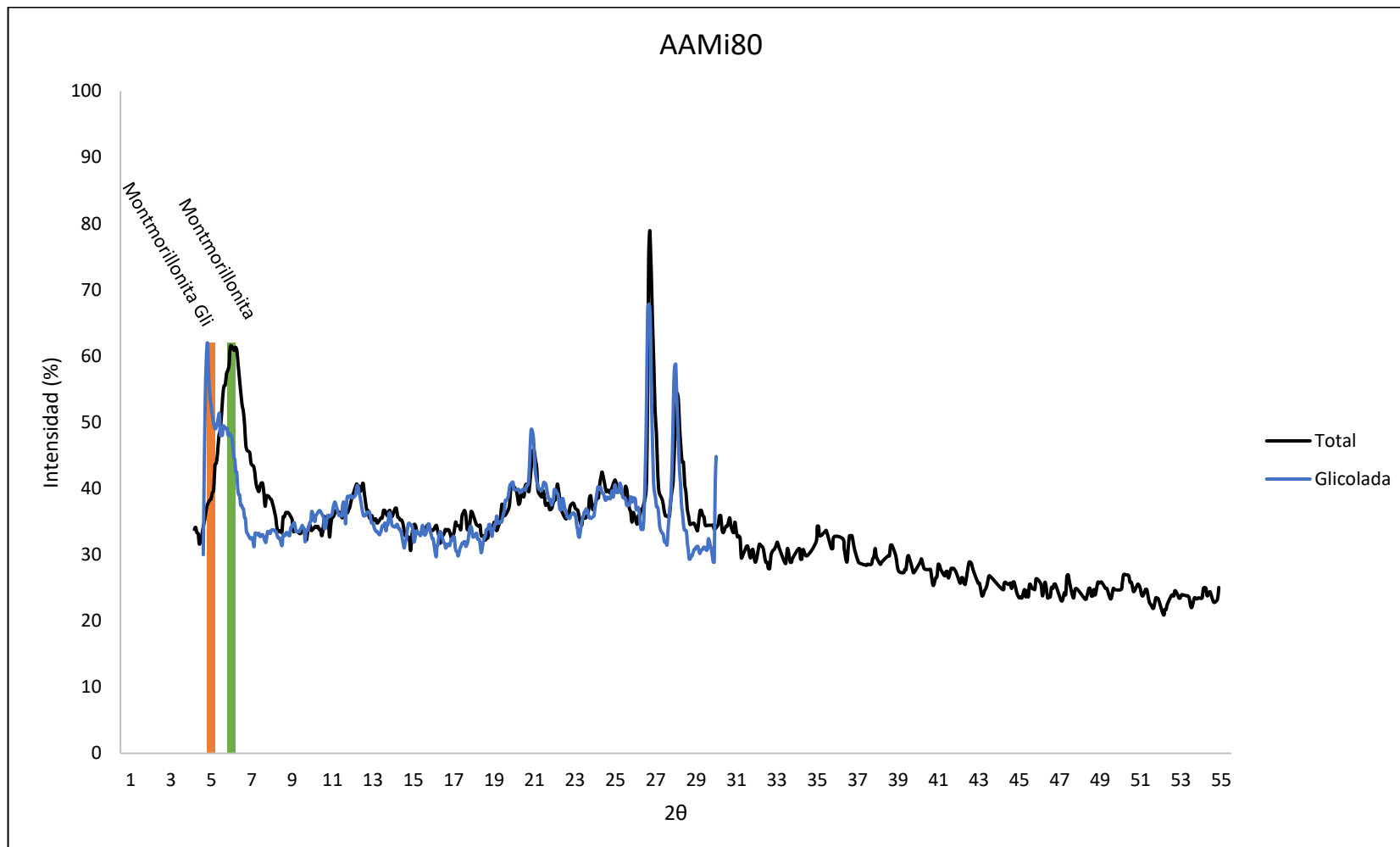


Figura #4.39. Difractograma de la muestra AAMi80 señalando los picos de montmorillonita

IV.2.2 Muestras de la cuenca de Guarenas-Guatire

En la tabla #4.20 se aparece la mineralogía total de las dos muestras que se recolectaron en la cuenca Guarenas-Guatire, a partir de la revisión de los diferentes difractogramas de las mismas.

Tabla #4.20. Mineralogía de las muestras de Guarenas-Guatire

Muestra	Mineralogía total
AAMi10	Illita, Caolinita, Cuarzo, Montmorillonita, Feldespato, Calcita
AAMi12	Montmorillonita, Caolinita, Illita, Cuarzo, Calcita

Como se puede observar, la calcita se hace presente indicando que hay un fuerte componente de carbonatico y la presencia de calcio. El cuarzo y el feldespato siguen presentes en las muestras de esta cuenca, y respecto a los minerales de arcilla sólo aparecen la illita, caolinita y montmorillonita, pero se encuentran en las dos muestras de la cuenca tal como lo mostró la tabla #4.20.

En los difractogramas total y glicolado de la muestra AAMi12 (figura #4.40) se marcan los picos de los minerales de arcillas destacando el de la montmorillonita el cual sufre expansión ya que en el total aparece a los 6.2° en el eje 2θ (espaciamiento d de 14.2 \AA) mientras que en el glicolado se encuentra a los 5.3° en 2θ (espaciamiento interplanar de 16.7 \AA); esta expansión considerable de 2.5 \AA permite diferenciar este mineral de la vermiculita y evidencia que se trata de montmorillonita. La illita y la caolinita aparecen en sus picos característicos en los ángulos 8.5° (espaciamiento d de 9.9 \AA) y 12.4° (espaciamiento d de 7.1 \AA) en el eje 2θ respectivamente; se determinaron también picos de segundo orden de estos minerales a los 17.9° en 2θ (espaciamiento d de 4.95 \AA) en el caso de la illita; y a los 24.8° en el eje 2θ (espaciamiento d de 3.6 \AA) para la caolinita. Es importante destacar que el pico de la montmorillonita es el más relevante en ambos difractogramas con intensidades relativas de 100% en ambos gráficos, mientras que los picos de illita y caolinita se encuentran alrededor de 50% de intensidad. Otros picos destacables son el de cuarzo a los 26.8° (espaciamiento d de 3.3 \AA) y calcita a los 29.6° (espaciamiento d de 3.0 \AA) en el eje 2θ .

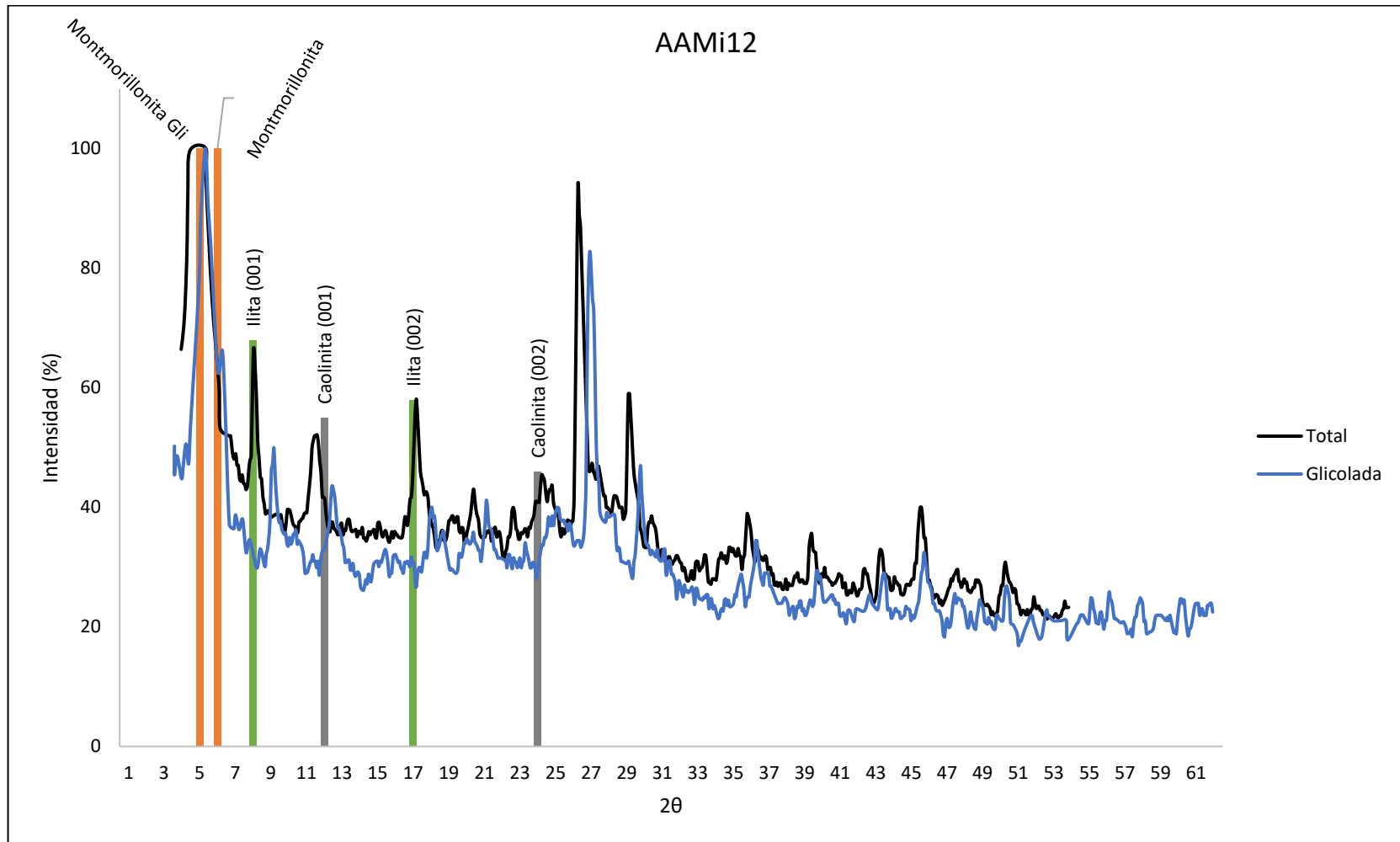


Figura #4.40. Difractograma de la muestra AAMi12

IV.2.3 Muestras de la cuenca Tuy-Charallave

La mineralogía total que se obtuvo de los difractogramas de las 32 muestras de la cuenca Tuy-Charallave se observa en la tabla #4.21.

Tabla #4.21. Mineralogía de las muestras de Tuy-Charallave

Muestras	Mineralogía
AAMi4	Cuarzo, Illita, Feldespato, Calcita, Caolinita
AAMi7	Montmorillonita, Caolinita, Cuarzo, Feldespato, Goethita, Calcita
AAMi8	Cuarzo, Illita, Montmorillonita, Vermiculita
AAMi9	Cuarzo, Illita, Vermiculita, Clorita, Caolinita (poca)
AAMi14	Vermiculita, Cuarzo, posible Illita
AAMi15	Vermiculita, Cuarzo
AAMi17	Vermiculita, Cuarzo
AAMi18	Vermiculita, Illita, Cuarzo
AAMi19	Montmorillonita, Caolinita, Cuarzo
AAMi20	Montmorillonita, Caolinita, Illita (poca)
AAMi21	Vermiculita, Illita, Cuarzo, posible presencia de Montmorillonita
AAMi22	Montmorillonita, Caolinita, Cuarzo
AAMi23	Vermiculita, Cuarzo, Illita
AAMi24	Vermiculita, Illita (poca), Cuarzo
AAMi27	Vermiculita, Illita (muy poca), Cuarzo
AAMi28	Vermiculita, Illita, Cuarzo
AAMi29	Vermiculita, Illita, Cuarzo
AAMi30	Vermiculita, Illita, Cuarzo
AAMi31	Vermiculita, Illita, Cuarzo
AAMi32	Vermiculita, Illita, Cuarzo
AAMi33	Vermiculita, Cuarzo
AAMi34	Vermiculita, Illita, Cuarzo, Caolinita
AAMi35	Vermiculita, Cuarzo, Illita
AAMi36	Vermiculita, Cuarzo, Caolinita
AAMi45	Vermiculita, Clorita, Illita, Cuarzo (poco), Feldespato
AAMi46	Vermiculita, Clorita, Illita, Cuarzo, Feldespato
AAMi47	Vermiculita, Clorita, Illita, Calcita, Cuarzo, Feldespato, Goethita (poca)
AAMi48	Vermiculita, Clorita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Calcita, Goethita, Caolinita
AAMi49	Vermiculita, Clorita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Calcita, Caolinita
AAMi50	Vermiculita, Clorita, Illita, Cuarzo, Feldespato, Calcita, Caolinita
AAMi51	Vermiculita, Clorita, Illita, Cuarzo, Feldespato
AAMi68	Vermiculita, Illita (posible), Cuarzo, Feldespato

La vermiculita es el mineral de arcilla que más se encuentra en las muestras de esta cuenca con un total de 27 apariciones. El cuarzo sigue abundando, pero el feldespato se ve reducido en comparación a otras cuencas. La calcita también se vuelve más común en esta cuenca y aparece en algunas muestras como la AAMi48 el mineral pesado Goethita.

IV.2.3.1 Vermiculita

Como se mencionó en el párrafo anterior, la vermiculita es el mineral que más se encontró al revisar los difractogramas de esta cuenca encontrándose en un total de 27 muestras como se observa en la tabla #4.22

Tabla #4.22. Muestras con vermiculita en Tuy-Charallave

Muestra	Muestra	Muestra
AAMi8	AAMi27	AAMi36
AAMi9	AAMi28	AAMi45
AAMi14	AAMi29	AAMi46
AAMi15	AAMi30	AAMi47
AAMi17	AAMi31	AAMi48
AAMi18	AAMi32	AAMi49
AAMi21	AAMi33	AAMi50
AAMi23	AAMi34	AAMi51
AAMi24	AAMi35	AAMi68

En la imagen satelital de la cuenca (figura #4.41) se observa la distribución espacial de los puntos de recolección de las muestras con vermiculita que se encuentran prácticamente en toda la cuenca. Por otra parte, la figura #4.42 se trata de un mapa geológico de la cuenca con las muestras ubicadas en las formaciones donde fueron recolectadas

Los difractogramas total y glicolado de la muestra AAMi14 (figura #4.43) marca muy bien los picos de vermiculita de primer orden a los 6° en el eje 2θ (espaciamiento d de 14.7 \AA) siendo un buen exponente de este mineral de arcilla en la cuenca ya que no se expande como en el caso de la montmorillonita.

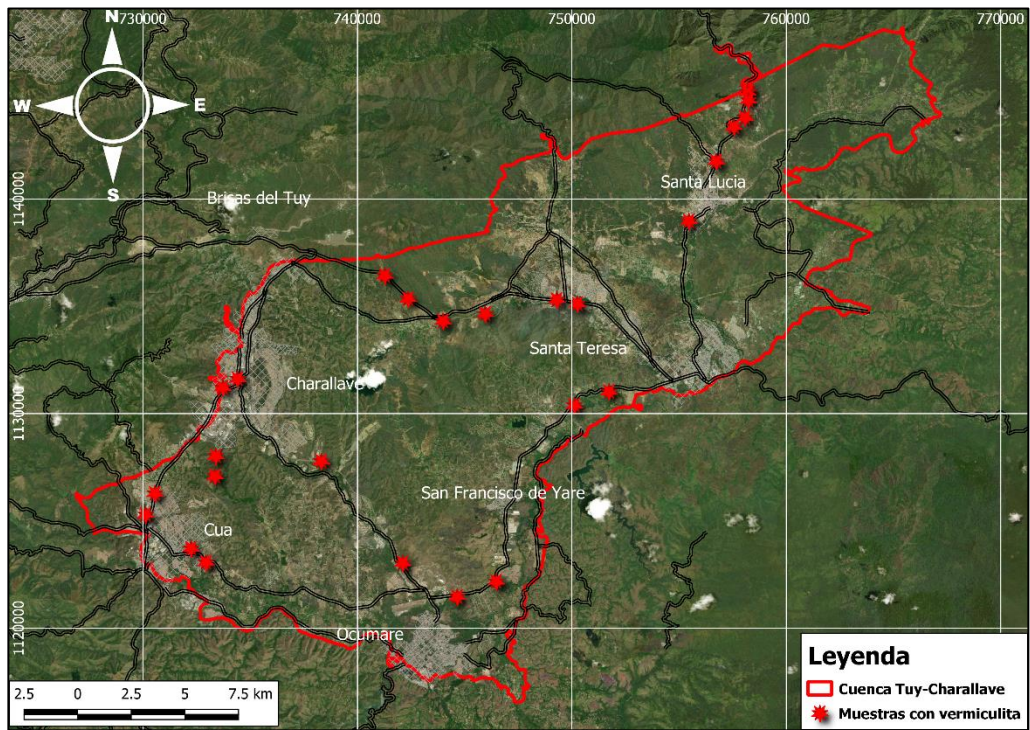


Figura #4.41. Mapa de Ubicación de las muestras con vermiculita en Tuy-Charallave

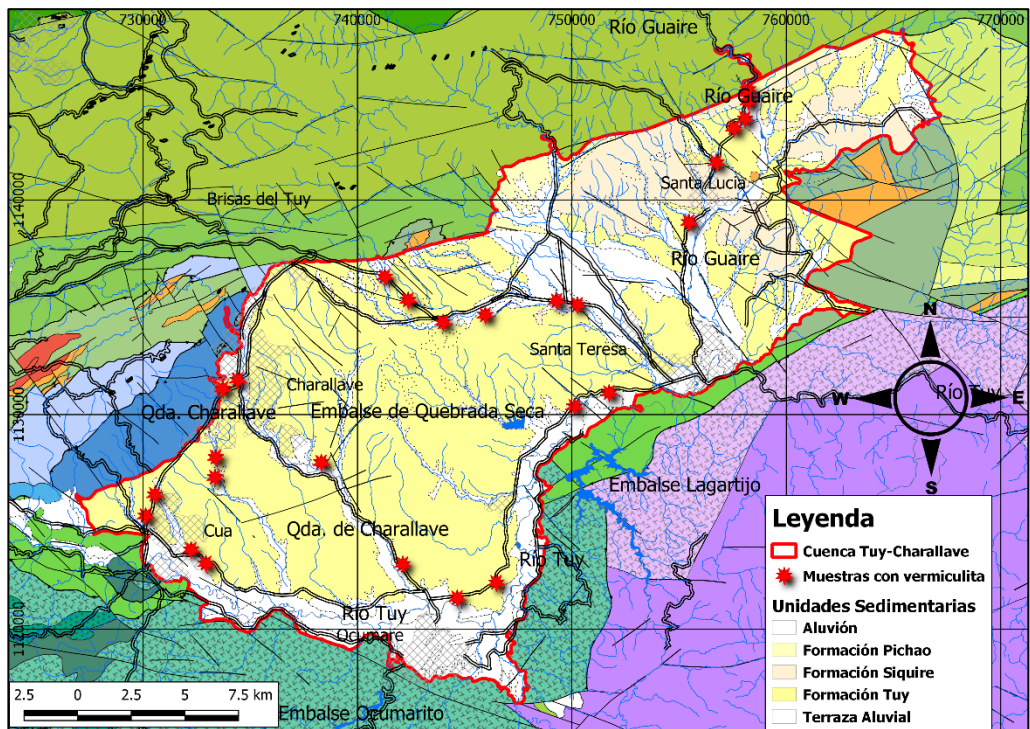


Figura #4.42. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con vermiculita

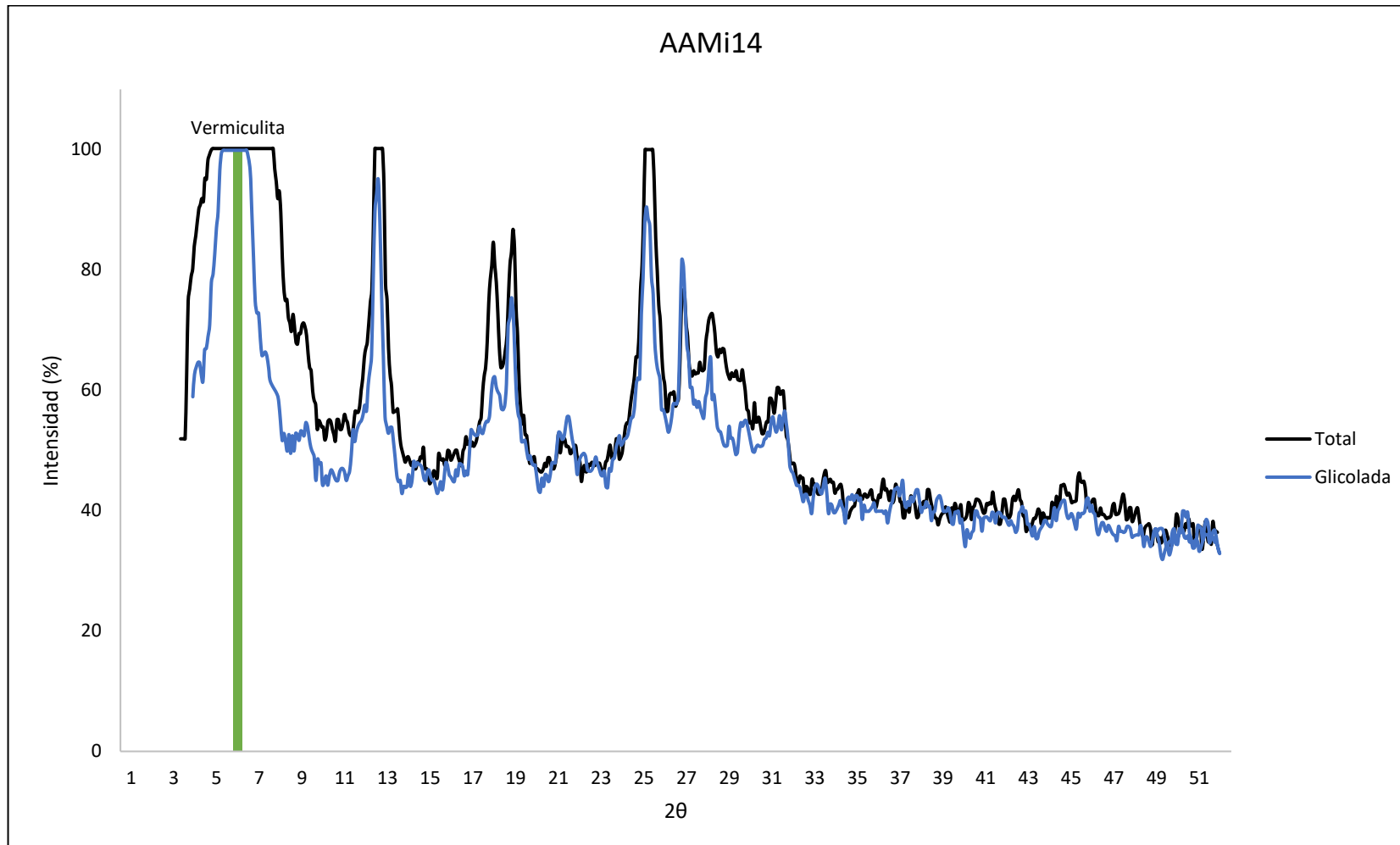


Figura #4.43. Difractograma de la muestra AAMi14 mostrando la vermiculita

IV.2.3.2 Illita

La illita es el segundo mineral de arcilla más abundante en la cuenca con apariciones en 25 muestras como se observa en la tabla #4.23 a continuación.

Tabla #4.23 Muestras con illita en Tuy-Charallave

Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra
AAMi4	AAMi20	AAMi28	AAMi34	AAMi48
AAMi8	AAMi21	AAMi29	AAMi35	AAMi49
AAMi9	AAMi23	AAMi30	AAMi45	AAMi50
AAMi14	AAMi24	AAMi31	AAMi46	AAMi51
AAMi18	AAMi27	AAMi32	AAMi47	AAMi68

La imagen satelital de la cuenca con los puntos donde se tomaron las muestras (figura #4.44) da una buena idea de la distribución de las mismas en la cuenca y como abarcan gran parte de la misma. Destaca la ausencia de la misma en las muestras cercanas a Ocumare del Tuy y en la muestra AAMi15.

La figura #4.45 que ilustra el mapa geológico de la cuenca con las muestras las cuales se encuentran especialmente cerca de los caudales de ríos en los límites entre las formaciones sedimentarias y los depósitos aluviales recientes.

Los difractogramas total y de fracción arcilla de la muestra AAMi32 (figura #4.46) ilustran de manera clara los picos de la illita a los 9° en el eje 2θ en ambos (espaciamiento interplanar de 9.8 \AA). También se logran identificar otro pico de illita de segundo grado a los 17.8° en el eje 2θ . El de tercer grado se confunde con el gran pico de cuarzo en el difractograma total a los 26.8° de 2θ , pero se logra identificar claramente en el gráfico correspondiente al ensayo en la fracción de arcilla en el mismo ángulo, pero con intensidad mucho menor y un espaciamiento interplanar característico de 3.3 \AA

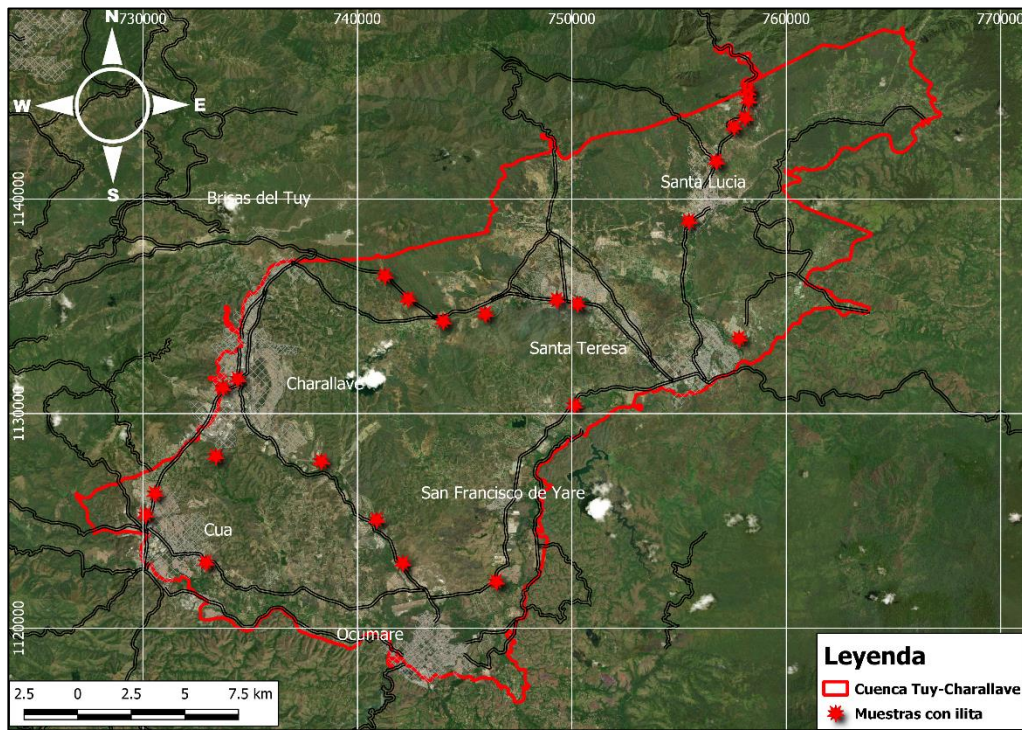


Figura #4.44. Mapa de Ubicación de las muestras con illita en Tuy-Charallave

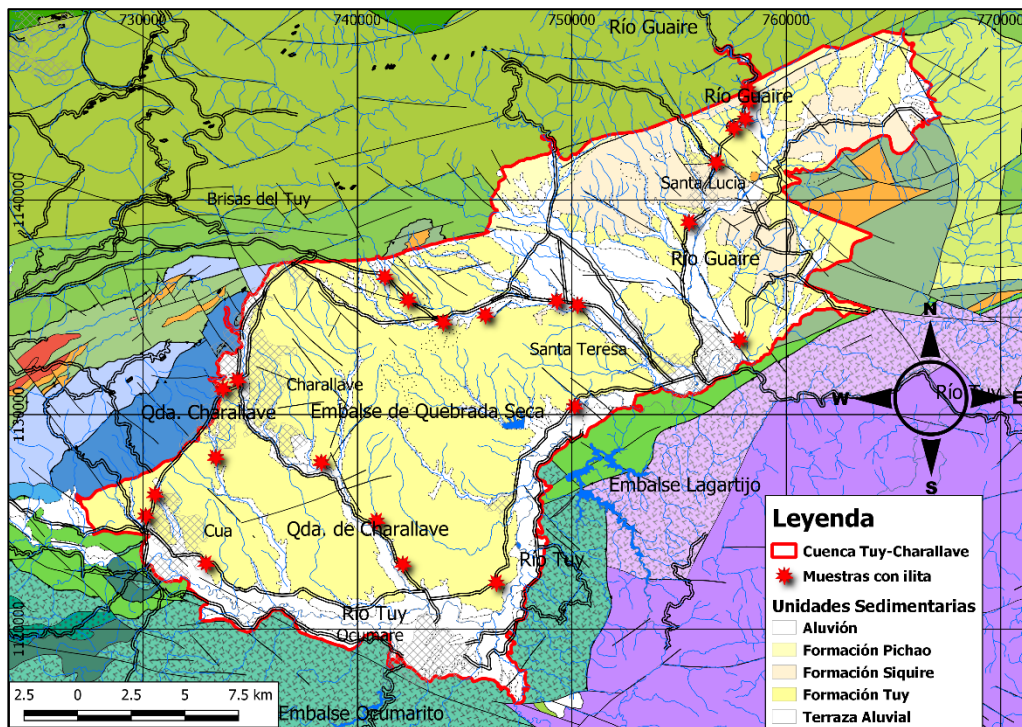


Figura #4.45. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con illita

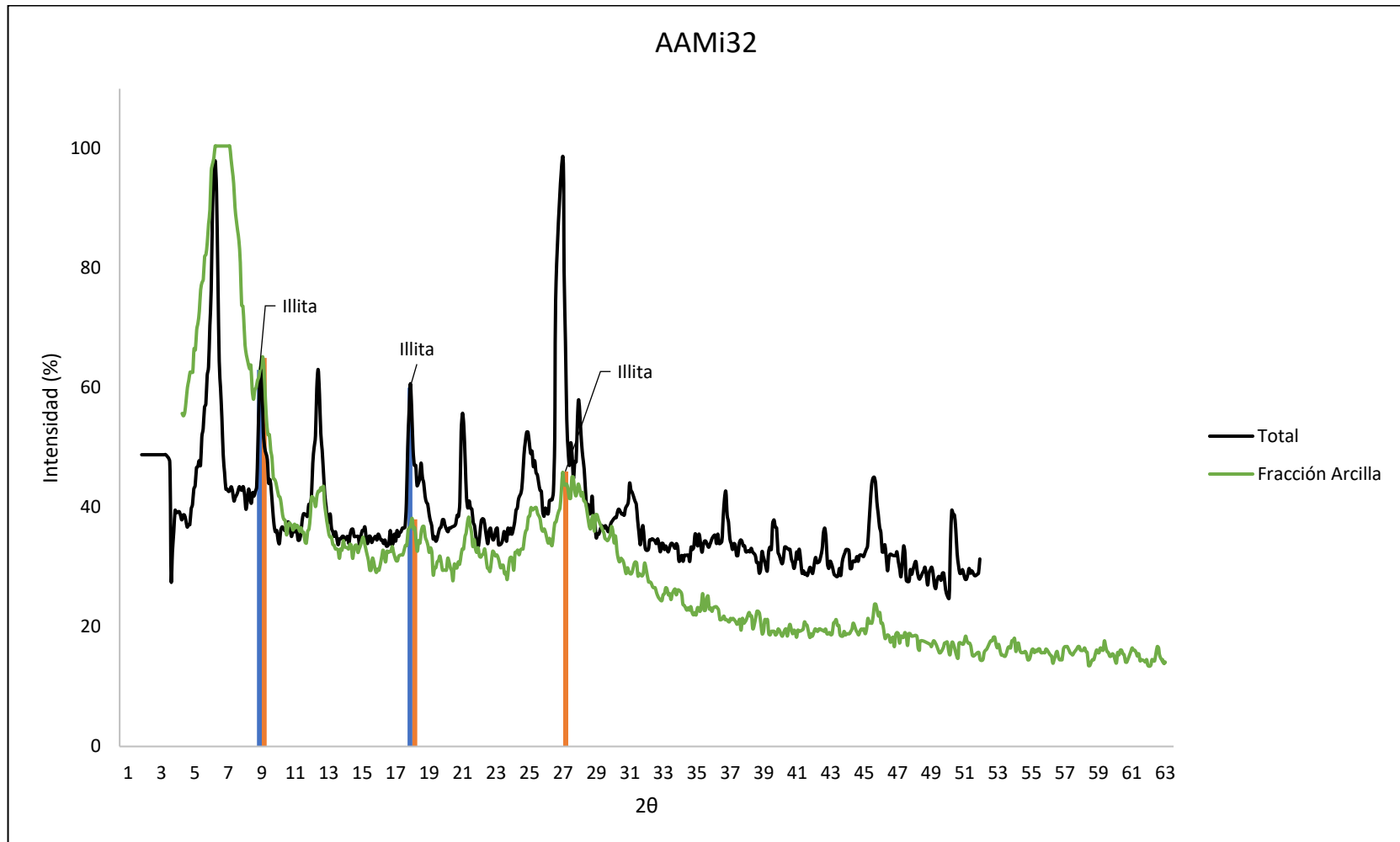


Figura #4.46. Difractograma de la muestra AAMi132 mostrando la illita

IV.2.3.3 Caolinita

La caolinita aparece en un total de 11 muestras en toda la cuenca las cuales aparecen en la tabla #4.24

Tabla #4.24 Muestras con caolinita en Tuy-Charallave

Muestra	Muestra
AAMi4	AAMi34
AAMi7	AAMi36
AAMi9	AAMi48
AAMi19	AAMi49
AAMi20	AAMi50
AAMi22	

La figura #4.47 señala la imagen satelital de la cuenca con los puntos donde se recolectaron las muestras las cuales parecen concentrarse hacia los límites de la cuenca.

En la figura #4.48 donde aparece el mapa geológico de la cuenca con la ubicación de las muestras las cuales se les determinó la presencia de caolinita se nota como las mismas se concentran especialmente en las zonas cercanas a ríos con sedimentos aluviales recientes y sobre la Formación Tuy.

En el difractograma total de la muestra AAMi20 (figura #4.49) se presenta un buen exponente de picos de caolinita de primer orden a los 12.4° en el eje 2θ (espaciamiento d de 7.1 \AA típico de la caolinita); y se lograron identificar dos picos muy cercanos dentro del rango de la caolinita de segundo orden a los 24.9° y 25.2° (espaciamientos interplanares de 3.57 y 3.53 \AA). Los picos del mineral de caolinita en esta muestra son bastante intensos con porcentajes de 81% para la de primer orden y 74% para ambos picos de segundo orden.

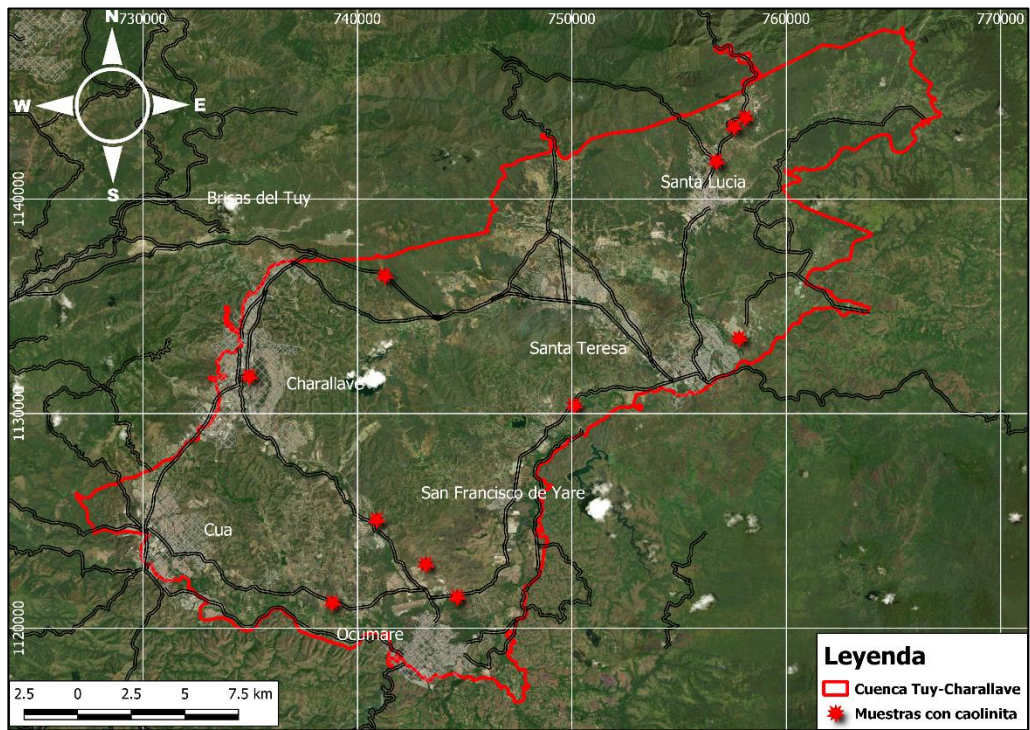


Figura #4.47. Mapa de Ubicación de las muestras con caolinita en Tuy-Charallave

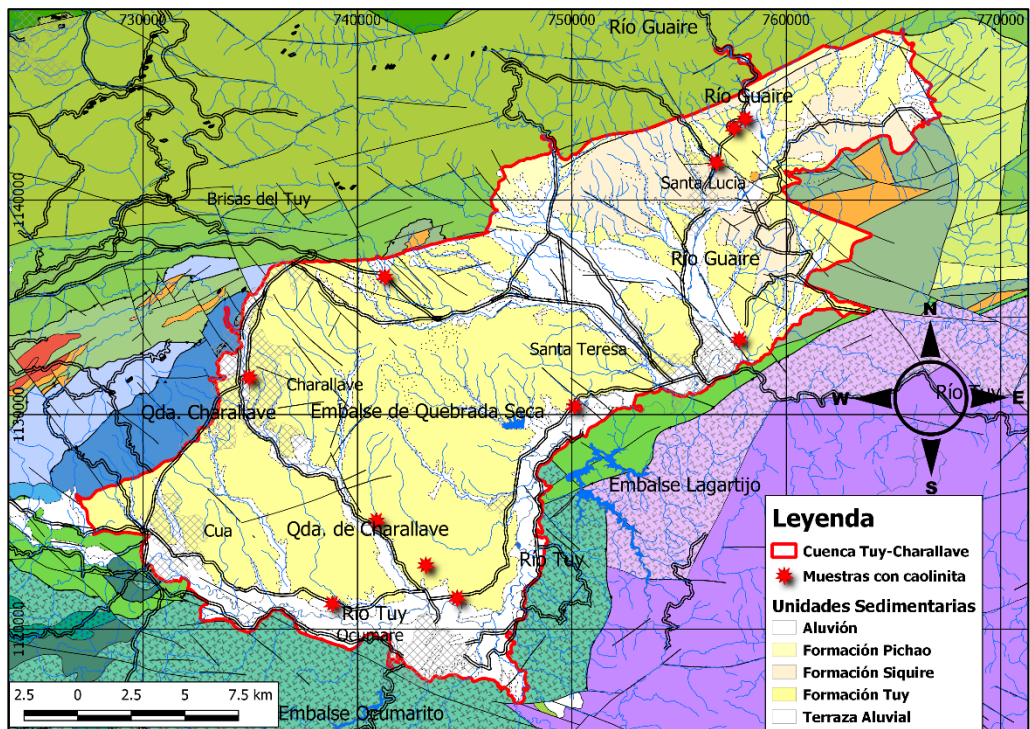


Figura #4.48. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con caolinita

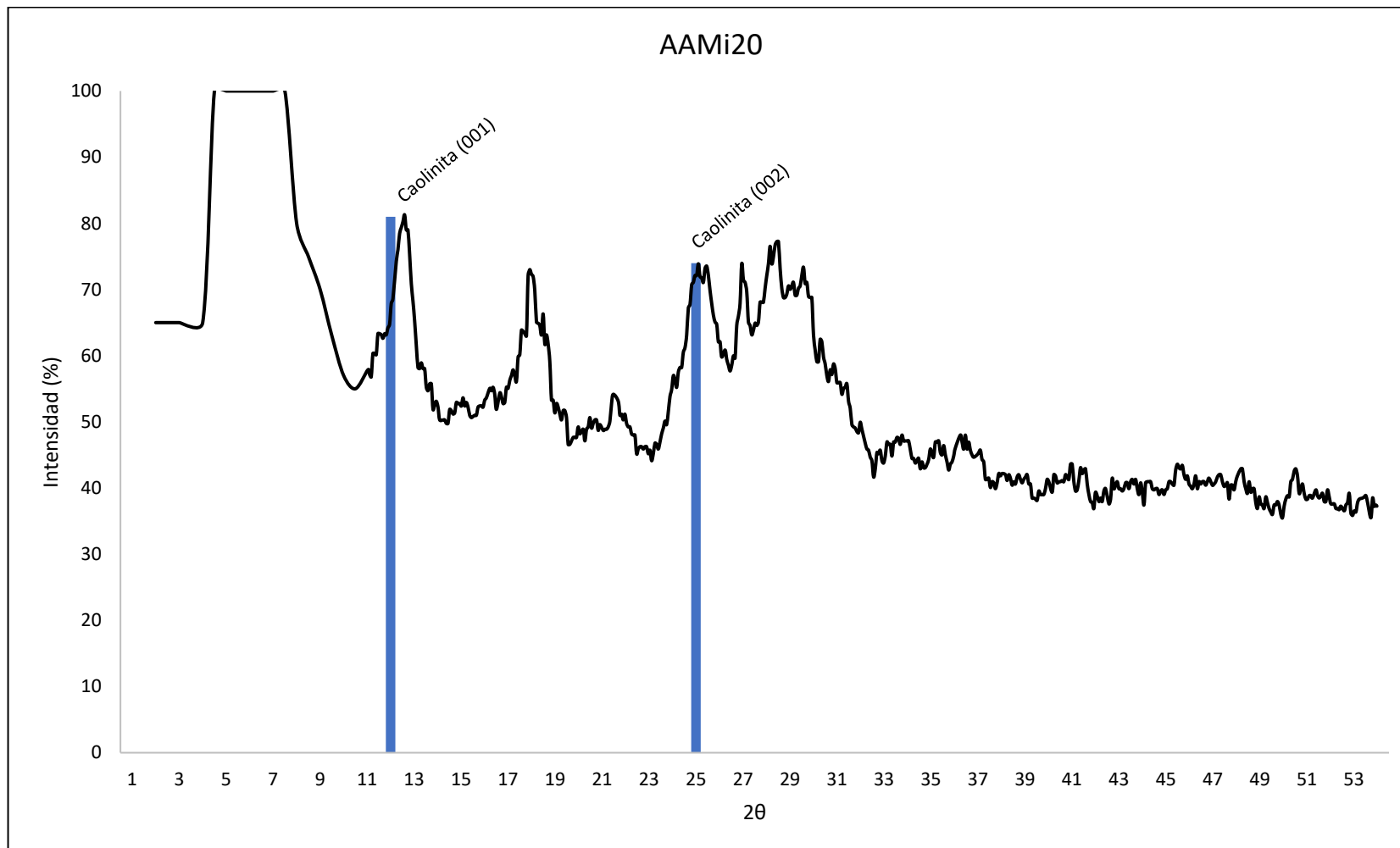


Figura #4.49. Difractograma de la muestra AAMi20 mostrando la caolinita

IV.2.3.4 Clorita

Las ocho muestras que se les detectó clorita en los difractogramas se pueden observar en la tabla #4.25 a continuación

Tabla #4.25 Muestras con clorita en Tuy-Charallave

Muestra	Muestra
AAMi9	AAMi48
AAMi45	AAMi49
AAMi46	AAMi50
AAMi47	AAMi51

En la figura #4.50 se observa la cuenca desde una imagen satelital junto con los puntos donde las muestras que contienen clorita fueron recolectadas. Es importante destacar la ubicación de las mismas ya que se encuentran concentradas al norte de la cuenca, especialmente donde se encuentra el poblado de Santa Lucia. La muestra que no se encuentra en esa zona corresponde a la AAMi9.

El mapa geológico de la cuenca con las muestras que contienen clorita se observa en la figura #4.51; en este se observa que las mismas se recolectaron en zonas de sedimentos aluviales recientes adyacentes a la Formación Tuy donde pasa el río Guaire al norte de la cuenca.

En el difractograma total de la muestra AAMi45 (figura #4.52) se destaca el pico de la clorita a los 6.3° en el eje 2θ (espaciamiento d de 14 \AA)

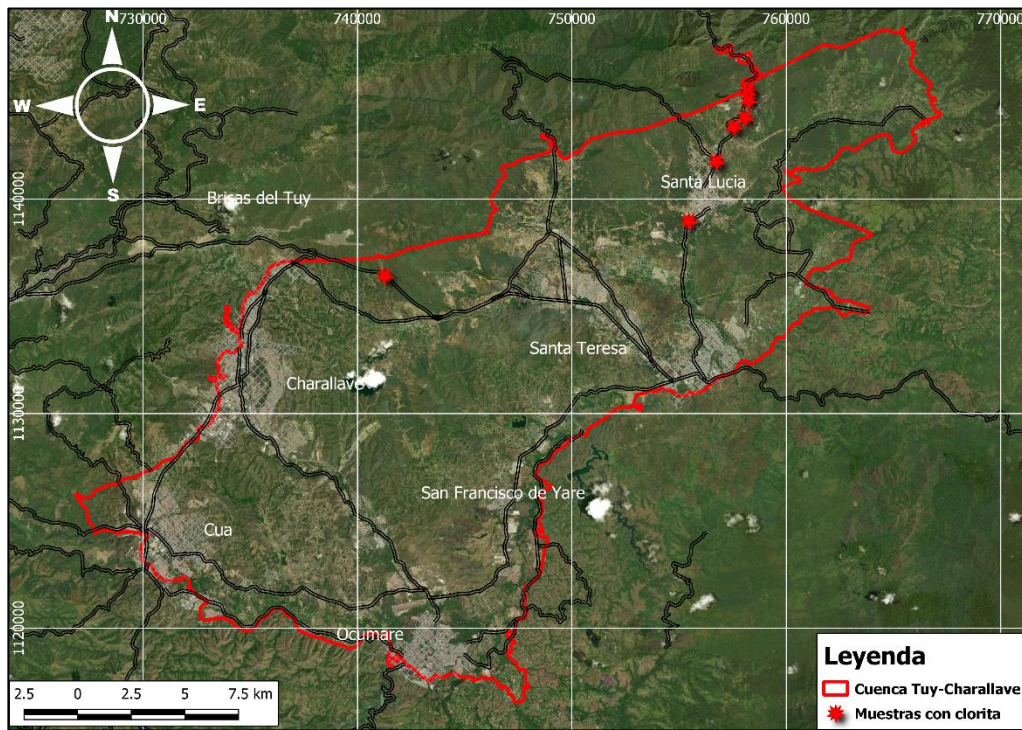


Figura #4.50. Mapa de Ubicación de las muestras con clorita en Tuy-Charallave

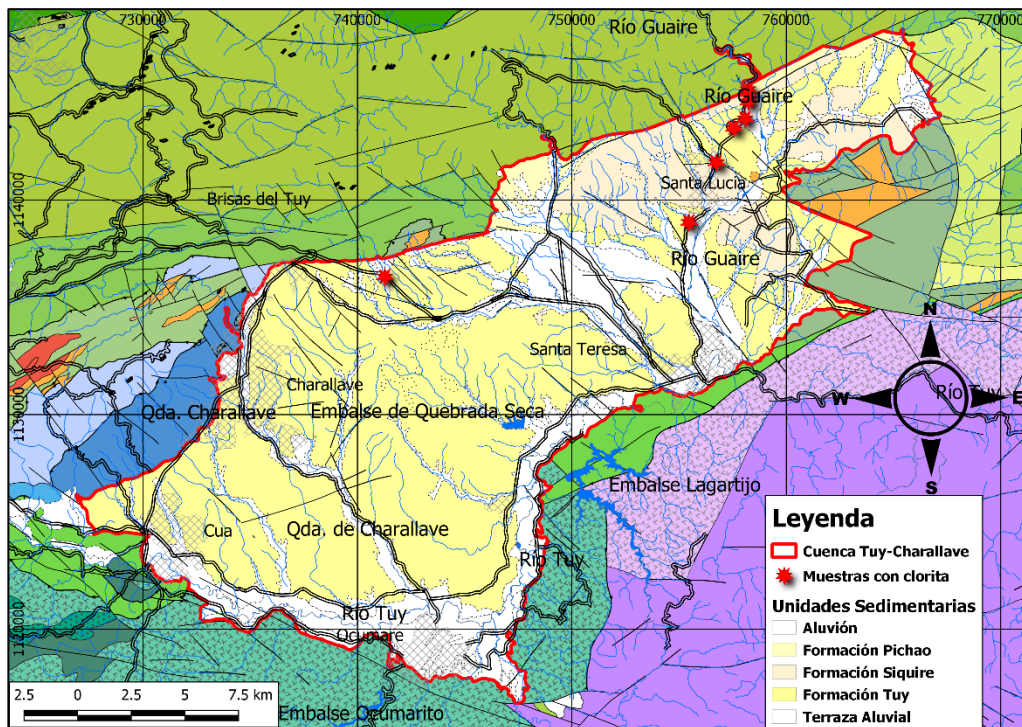


Figura #4.51. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con clorita

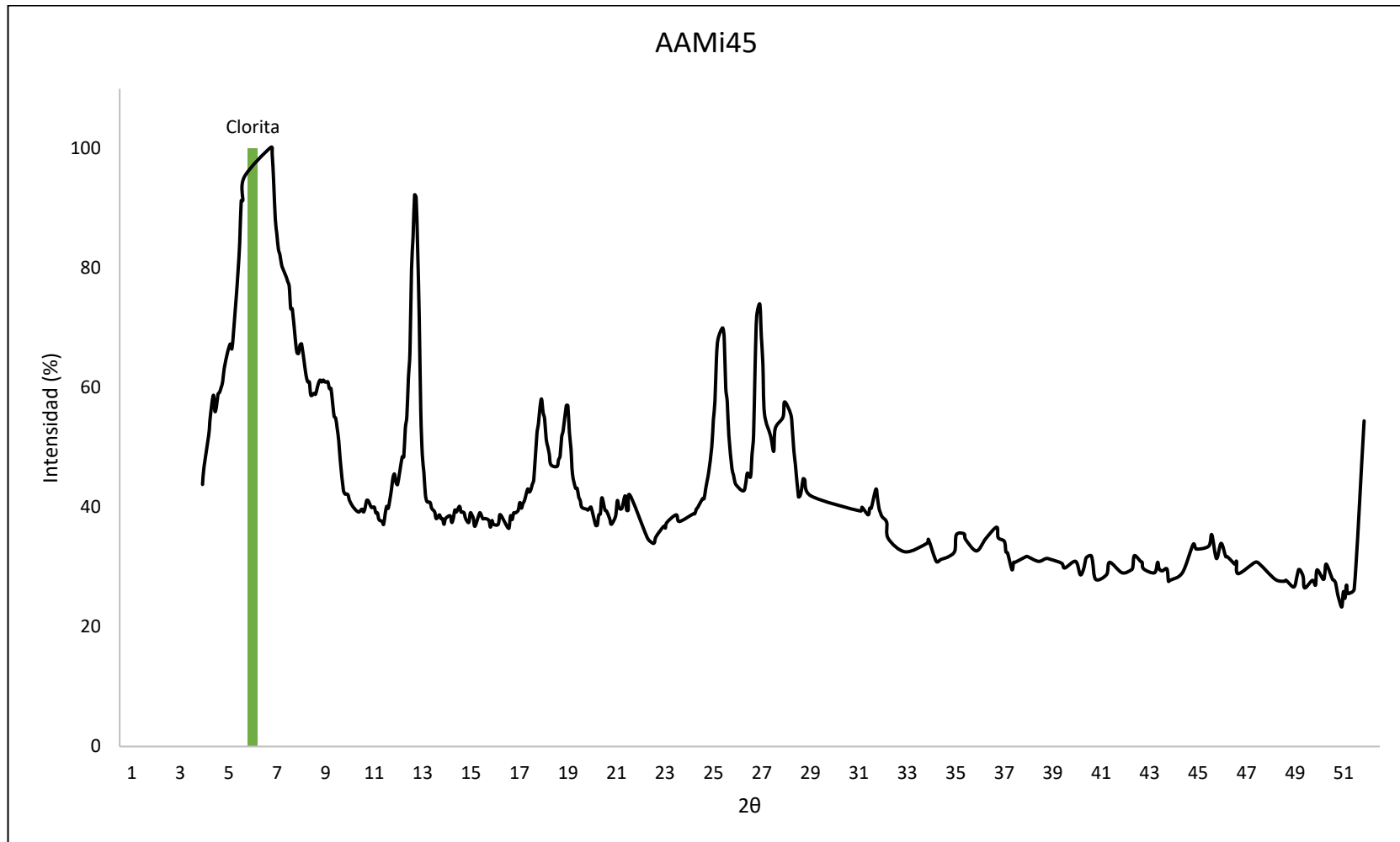


Figura #4.52. Difractograma de la muestra AAMi45 mostrando la clorita

IV.2.3.5 Montmorillonita

La montmorillonita es el mineral de arcilla que menos aparece en las muestras de la cuenca ya que se encuentra en seis nada más, estas se encuentran representadas en la tabla #4.26 que se encuentra a continuación.

Tabla #4.26 Muestras con montmorillonita en Tuy-Charallave

Muestra	Muestra
AAMi7	AAMi20
AAMi8	AAMi21
AAMi19	AAMi22

La figura #4.53 muestra una imagen satelital de la cuenca con los puntos donde se recolectaron las muestras que contienen montmorillonita; las cuales, se concentran a lo largo de la Quebrada Charallave, específicamente en el flanco izquierdo de la misma.

En el caso del mapa geológico con la ubicación de las muestras que se observa en la figura #4.54; permite identificar que las muestras se encuentran especialmente en sedimentos aluviales recientes limítrofes a la Formación Tuy.

Los difractogramas total y glicolado de la muestra AAMi20 (figura #4.55) permite identificar claramente los picos de la montmorillonita; en el primero aparece a los 6.0° en el eje 2θ (espaciamento interplanar de 14.2 \AA), mientras que el segundo se expande de manera considerable moviendo el pico a los 5.6° en el eje 2θ (espaciamento d de 15.8 \AA). La diferencia de espaciamento interplanar entre ambos difractogramas es de aproximadamente 1.6 \AA ; lo cual es considerablemente alto y por lo tanto se asume que se trata de una reacción entre la montmorillonita y el etilenglicol, descartando la posibilidad que sea vermiculita. Cabe destacar también la gran intensidad de los picos ya que tanto en el difractograma total como en el glicolado este llega al 100% de intensidad relativa.

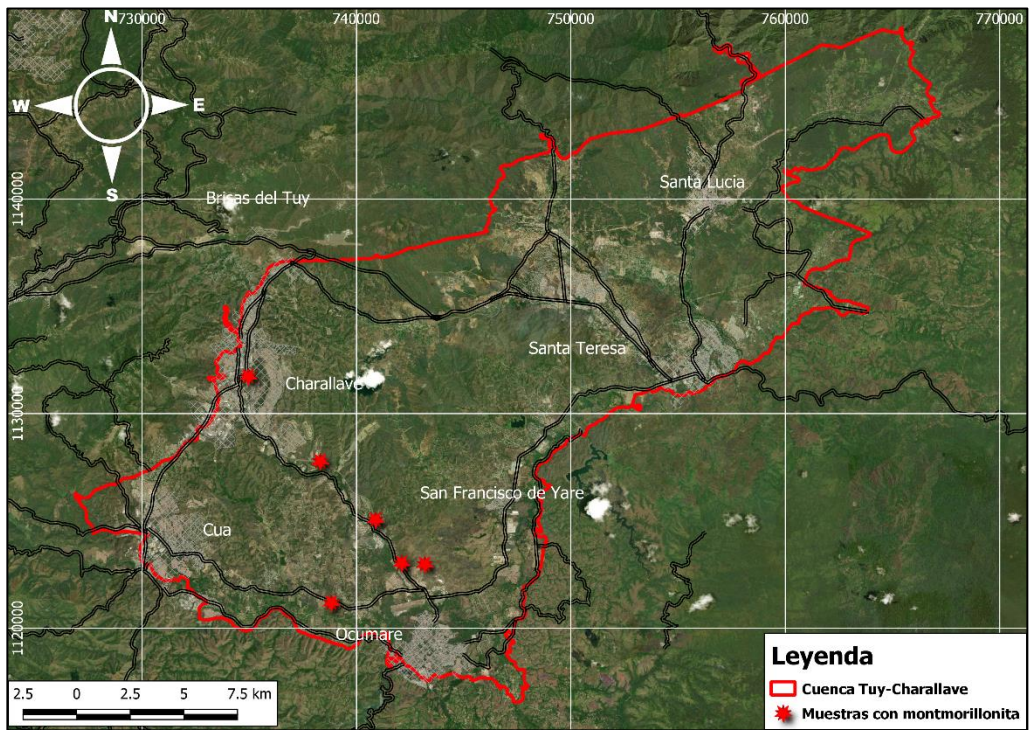


Figura #4.53. Mapa de Ubicación de las muestras con montmorillonita en Tuy-Charallave

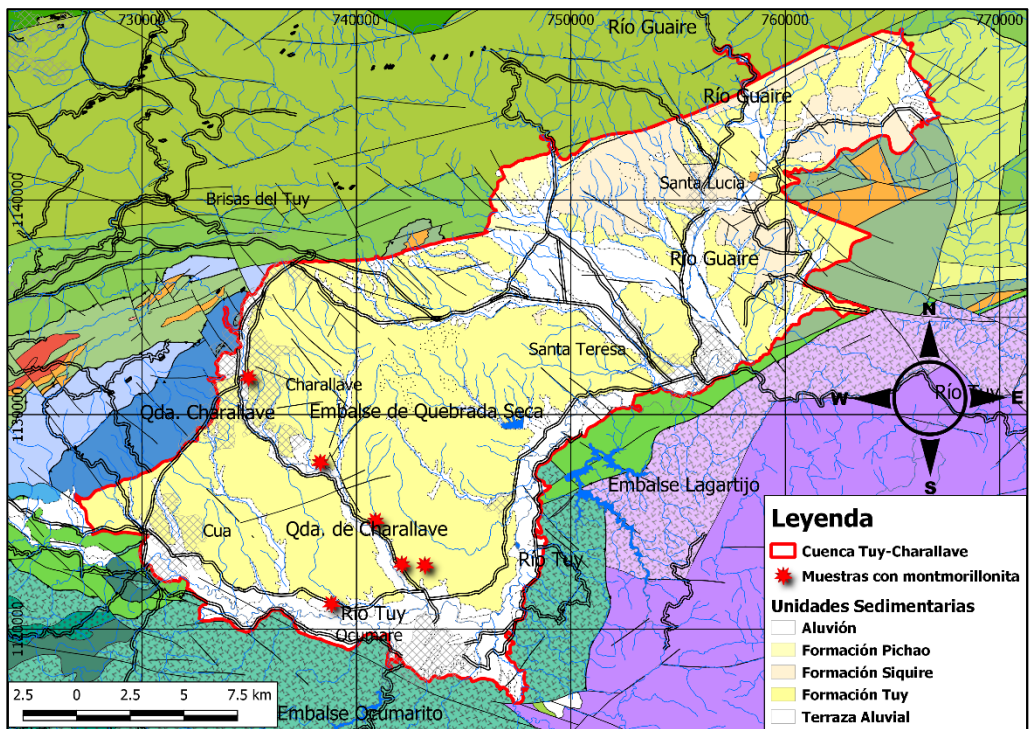


Figura #4.54. Mapa geológico de la cuenca Tuy-Charallave con muestras con montmorillonita

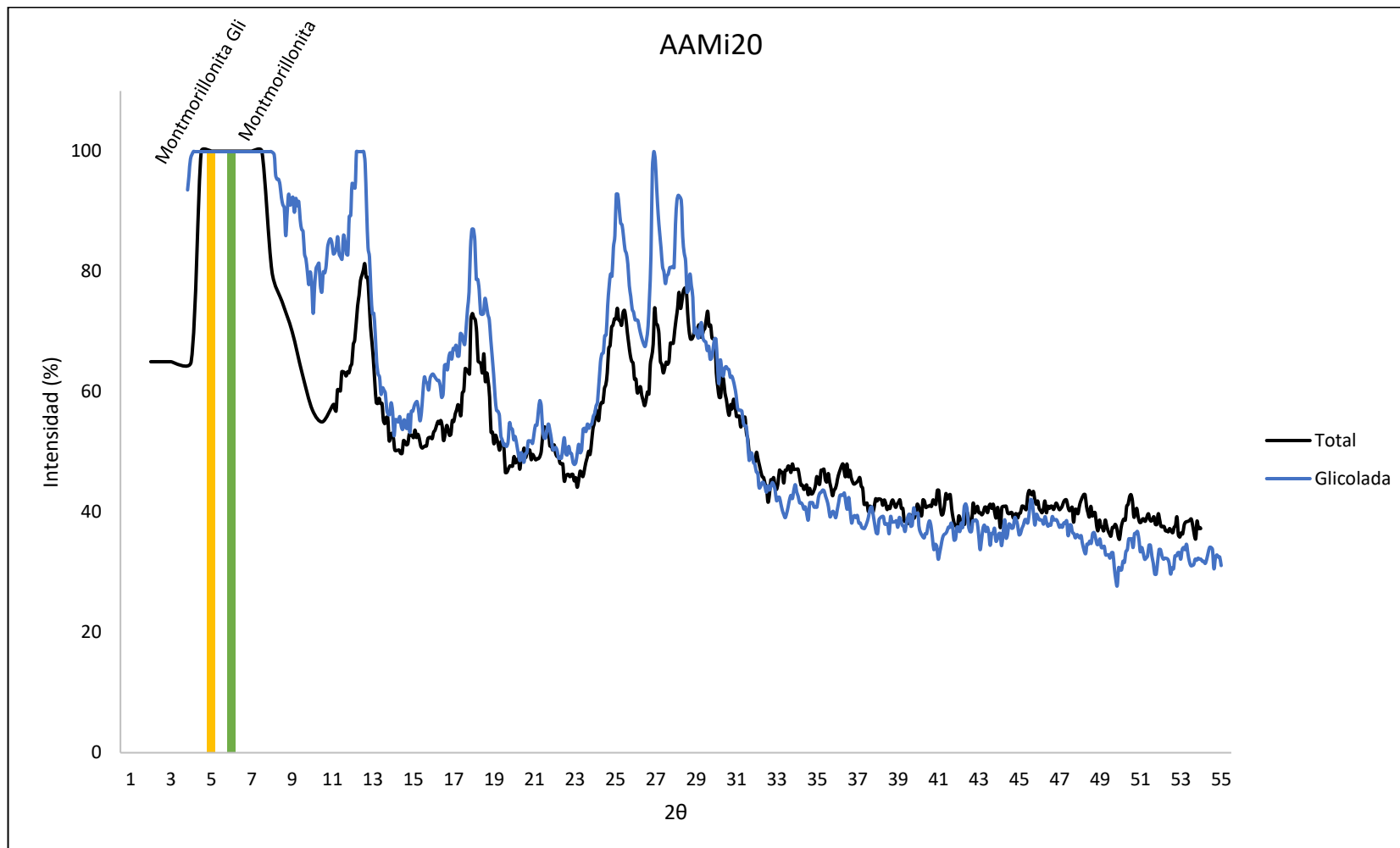


Figura #4.55. Difractograma de la muestra AAMi20 mostrando la montmorillonita

IV.2.4 Muestras del Metaconglomerado de Charallave

De esta unidad se recolectaron cuatro muestras cuya mineralogía que se obtuvo a través de la interpretación de los diferentes difractogramas se encuentra presentada en la tabla #4.27

Tabla #4.27. Mineralogía de las muestras del Metaconglomerado de Charallave

Muestras	Mineralogía
AAMi13	Montmorillonita, Caolinita (muy poca), Illita (poca), Cuarzo
AAMi16	Vermiculita, Cuarzo
AAMi25	Montmorillonita, Caolinita, Cuarzo
AAMi26	Vermiculita, Cuarzo

El cuarzo se mantiene como mineral común presente en todas las muestras; sin embargo, el feldespato no se encuentra presente. La illita solo aparece en una muestra y de manera escasa.

IV.2.4.1 Vermiculita

Este mineral se encuentra en dos de las cuatro muestras siendo el más abundante de los minerales de arcilla tal como se observa en la tabla #4.28

Tabla #4.28 Muestras con vermiculita en Metaconglomerado de Charallave

Muestra
AAMi16
AAMi26

La imagen satelital de la ubicación de las muestras (figura #4.56) permite darse cuenta que las muestras se encuentran en zonas más elevadas que las circundantes. La figura #4.57 por su parte las muestra dentro del Metaconglomerado de Charallave.

Los difractogramas total y glicolado de la muestra AAMi16 (figura #4.58) exponen la nula expansión del pico de vermiculita que se encuentra a los 5.8° en el eje 2θ (espaciamiento d de 15.2 Å) en ambos gráficos permitiendo diferenciarla de la montmorillonita

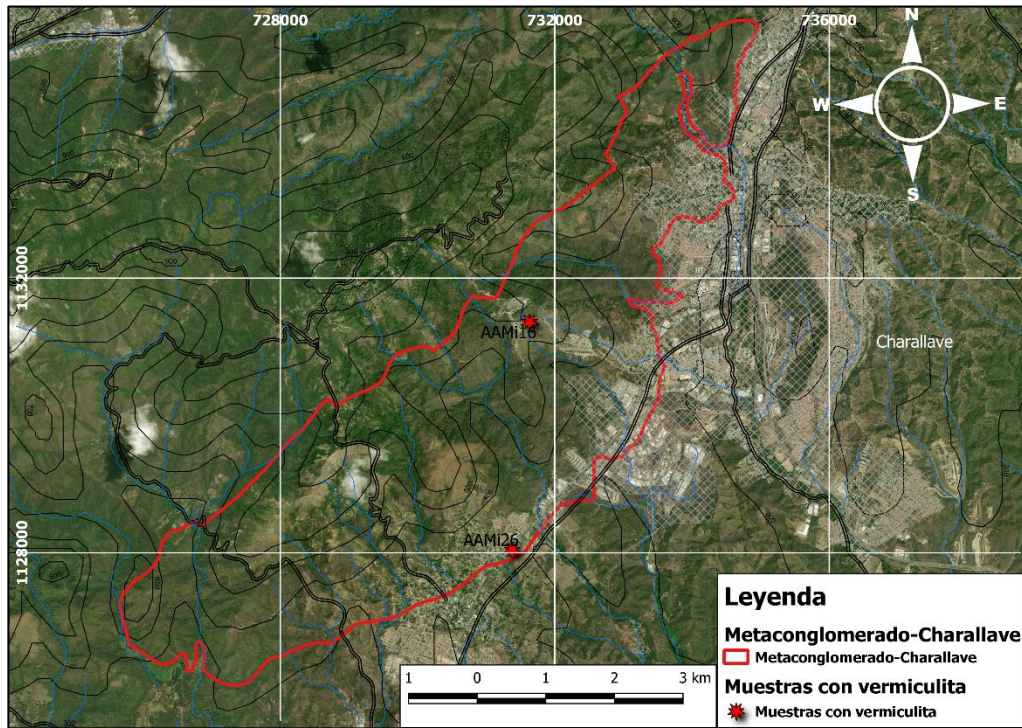


Figura #4.56. Mapa de las muestras con vermiculita en el Metaconglomerado de Charallave

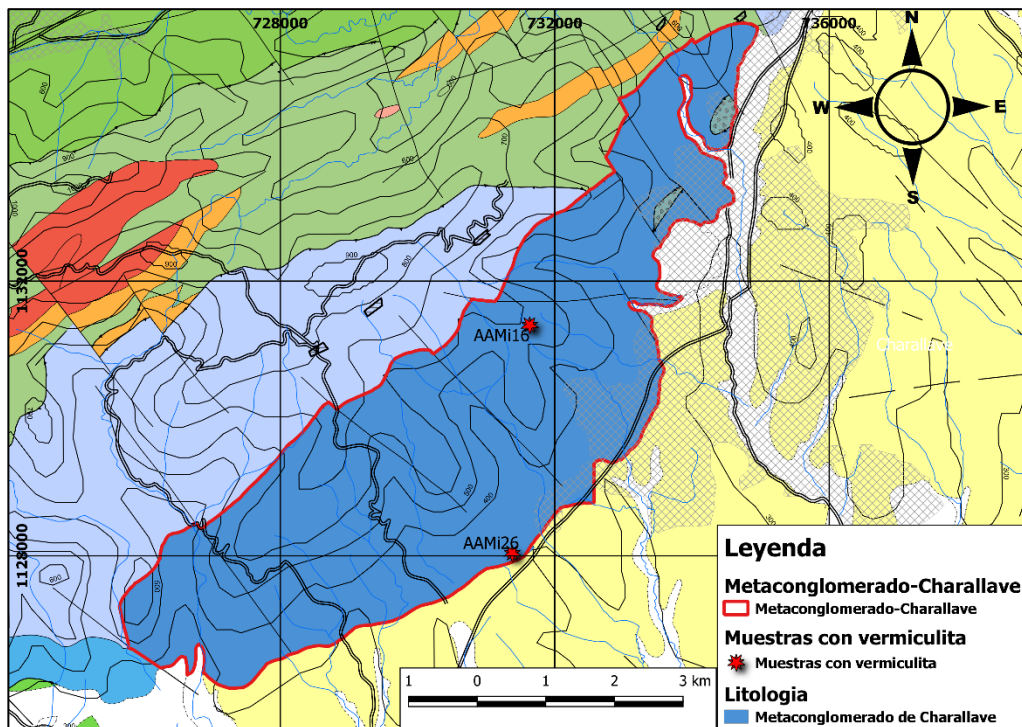


Figura #4.57. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con vermiculita

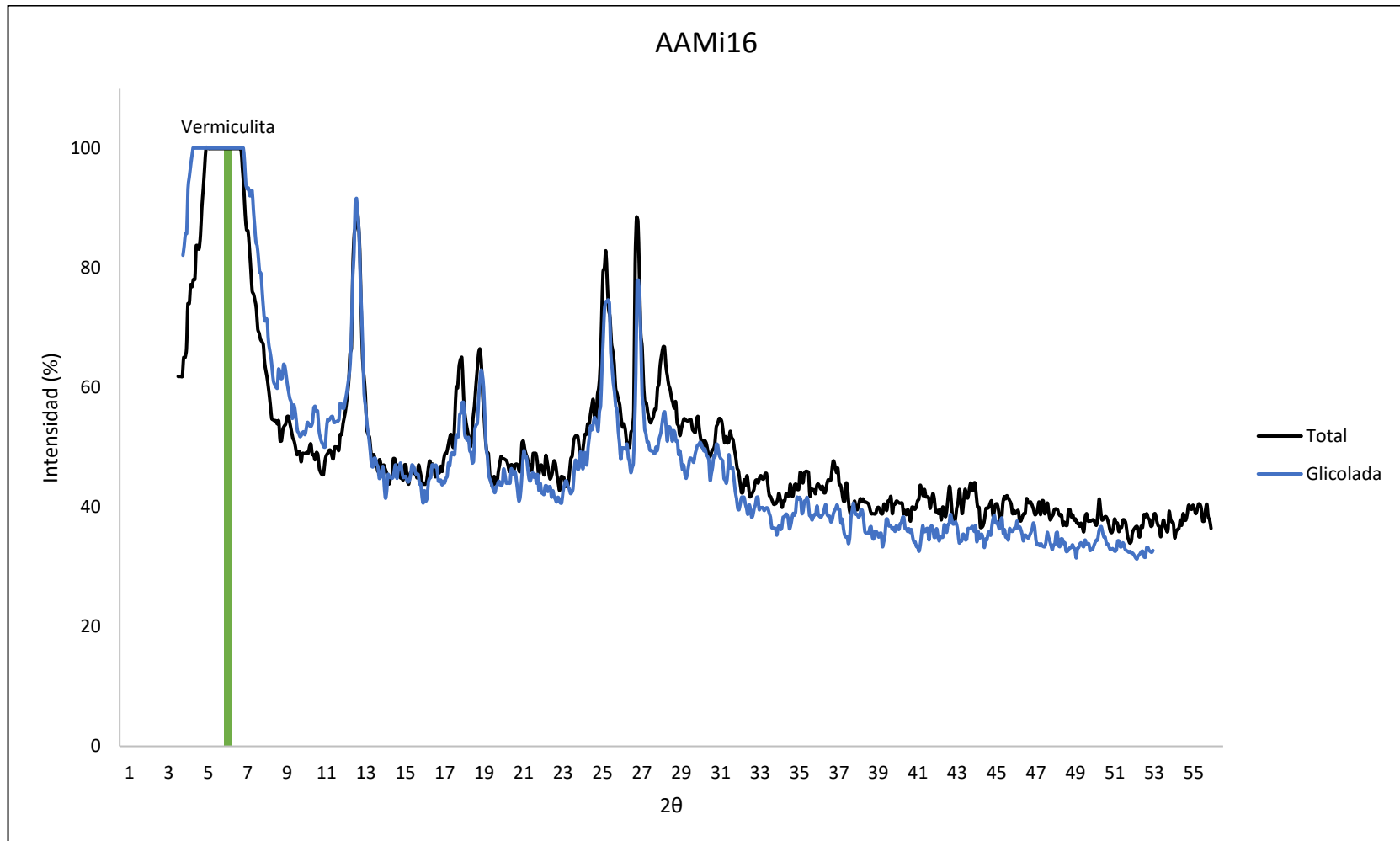


Figura #4.58. Difractograma de la muestra AAMi16 mostrando la vermiculita

IV.2.4.2 Montmorillonita

Al igual que la vermiculita, la montmorillonita se encuentra en dos muestras las cuales se presentan en la tabla #4.29.

Tabla #4.29 Muestras con montmorillonita en Metaconglomerado de Charallave

Muestra
AAMi13
AAMi25

La figura #4.59 se trata de la imagen satelital de la cuenca con los puntos donde se recolectaron las muestras; en ella se observa que las mismas provienen de zonas cercanas a drenajes.

La figura #4.60 es un mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con los puntos de recolección de las muestras que tienen montmorillonita; en ella se observa la ubicación relativa de las mismas respecto a la unidad metasedimentaria.

En los difractogramas total y glicolado de la muestra AAMi13 (figura #4.61) se logra apreciar los picos del mineral a los 6.2° en el eje 2θ (espaciamiento d de 14.2 \AA) y de 5.3° en el eje 2θ (espaciamiento interplanar de 16.7 \AA) respectivamente. La diferencia de espaciamiento entre ambos difractogramas equivale a una expansión de 2.5 \AA producto de la reacción de la montmorillonita con el etilén glicol, permitiendo a su vez diferenciarlo de la vermiculita. Un factor importante a la hora de identificar el pico es su alta intensidad relativa que muestra en ambos difractogramas ya que llega al 100% en ambos siendo el más destacado junto con el cuarzo que se encuentra a los 26.8° en el eje 2θ .

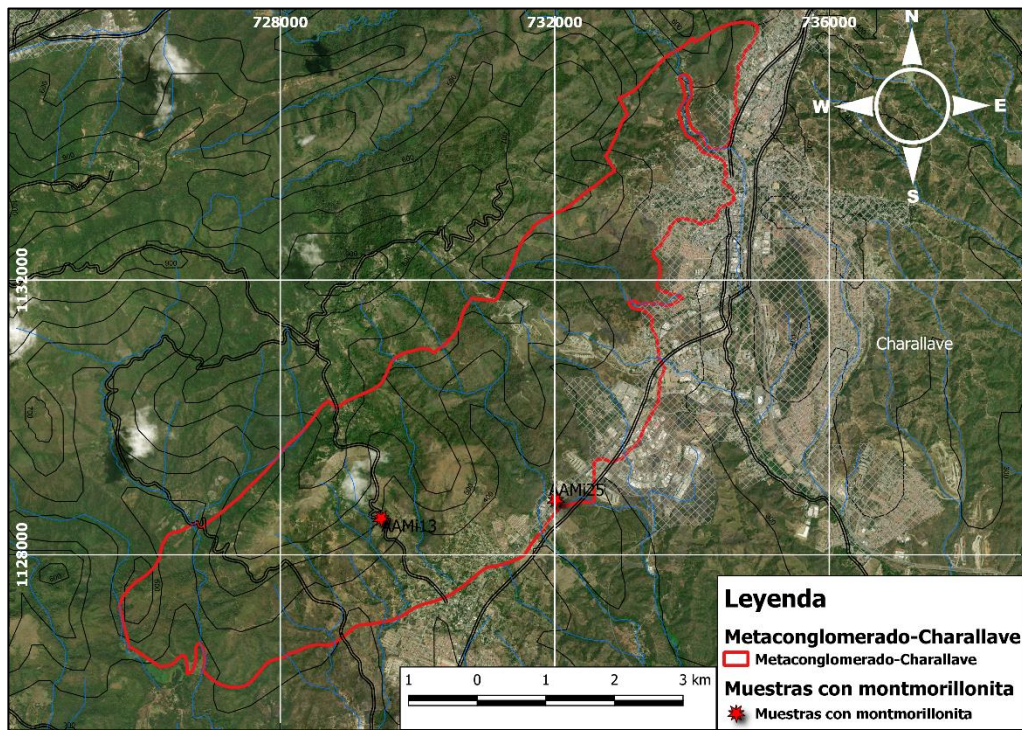


Figura #4.59. Mapa de las muestras con montmorillonita en el Metaconglomerado de Charallave

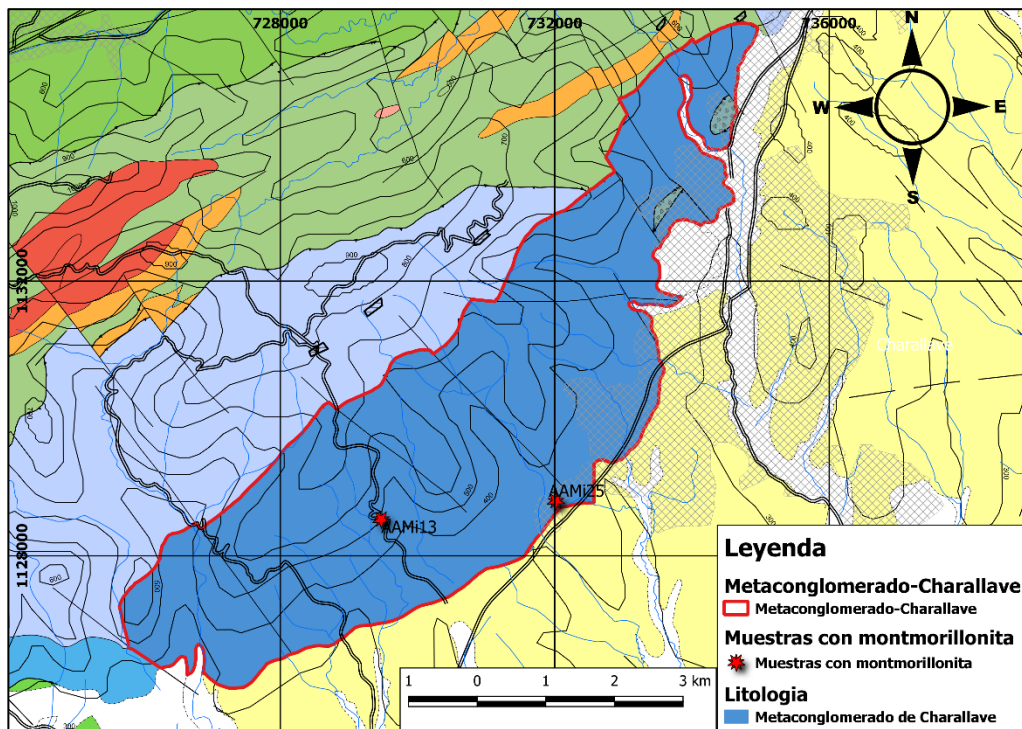


Figura #4.60. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con montmorillonita

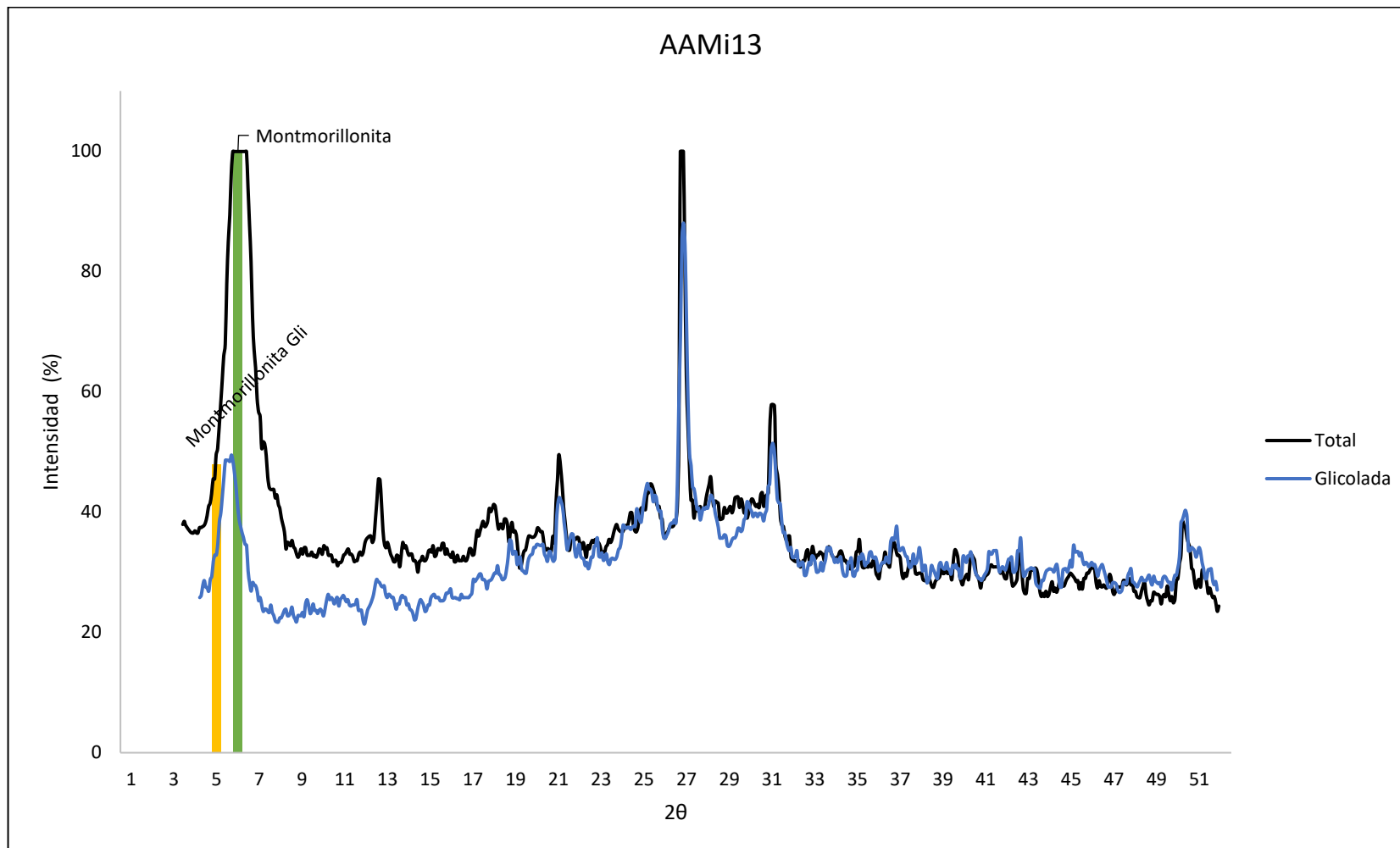


Figura #4.61. Difractograma de la muestra AAMi13 mostrando la montmorillonita

IV.2.4.3 Caolinita

La caolinita aparece en dos muestras que se observan en la tabla #4.30 a continuación; estas son las mismas que tienen montmorillonita.

Tabla #4.30 Muestras con caolinita en Metaconglomerado de Charallave

Muestra
AAMi13
AAMi25

Cabe destacar que la muestra AAMi13 presenta poca caolinita respecto a la cantidad de montmorillonita.

En la siguiente imagen satelital del Metaconglomerado de Charallave se observan los puntos de recolección de las muestras que presentaron caolinita en la lectura e interpretación de sus picos (figura #4.62).

El mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con la ubicación de los puntos de recolección de las muestras se ilustra en la figura #4.63.

En el difractograma total de la muestra AAMi25 que se encuentra en la figura #4.64 se destacan los picos de la caolinita de primer y segundo orden a los 12.2° y 24.8° en el eje 2θ respectivamente (espaciamentos interplanares de 7.2 y 3.6 Å) característicos de la caolinita.

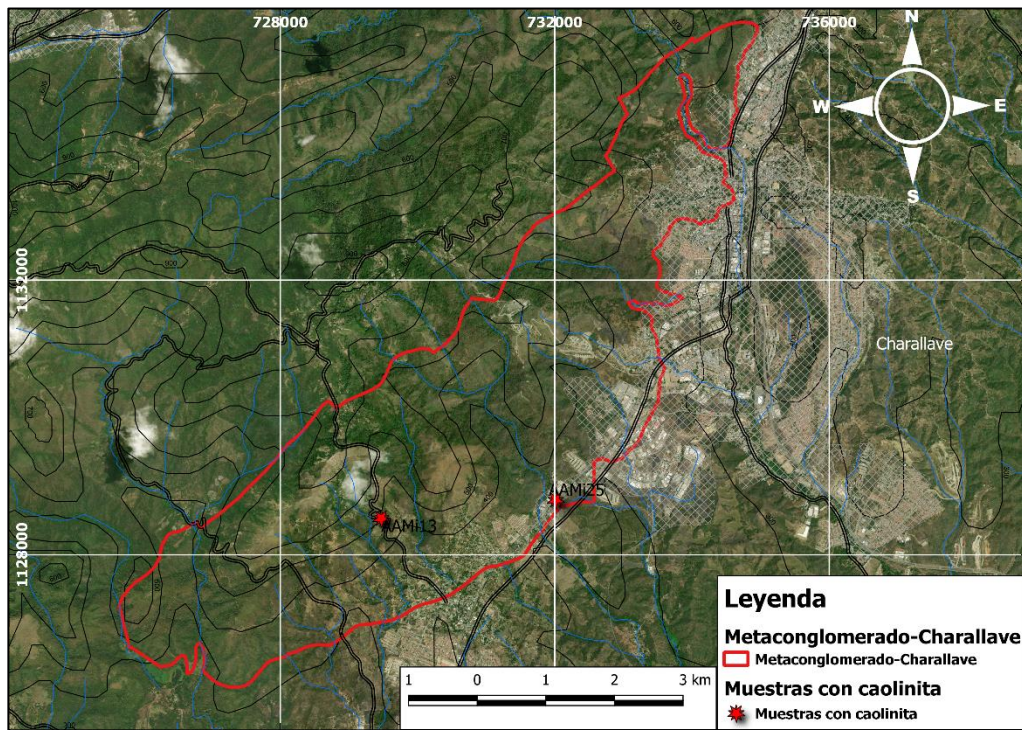


Figura #4.62. Mapa de las muestras con caolinita en el Metaconglomerado de Charallave

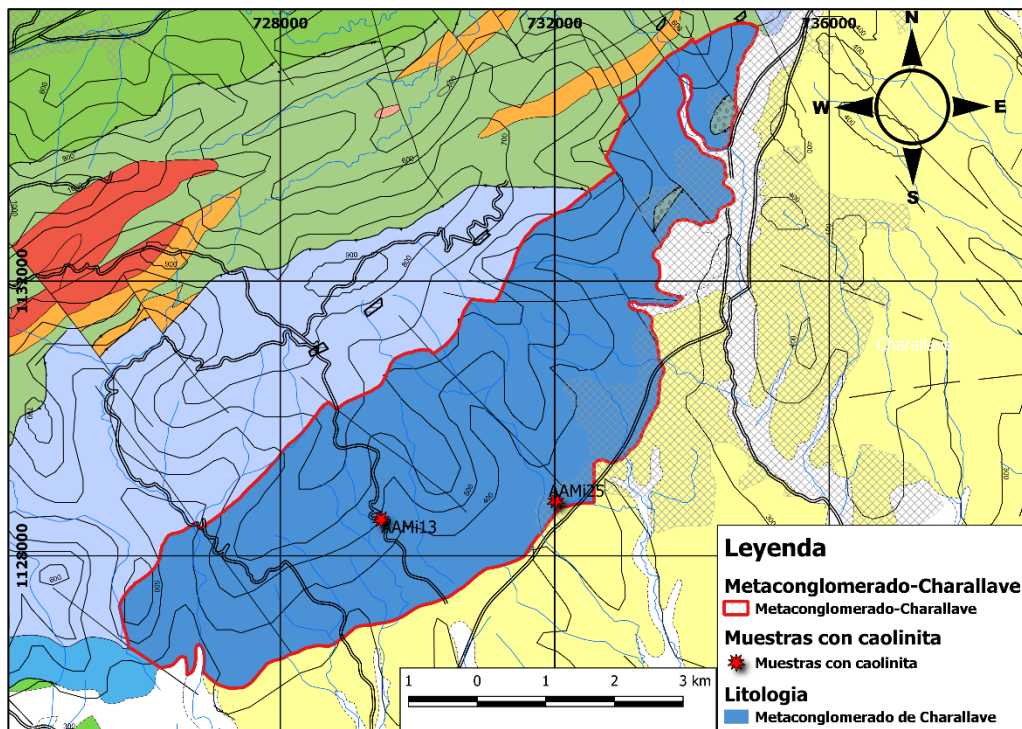


Figura #4.63. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con caolinita

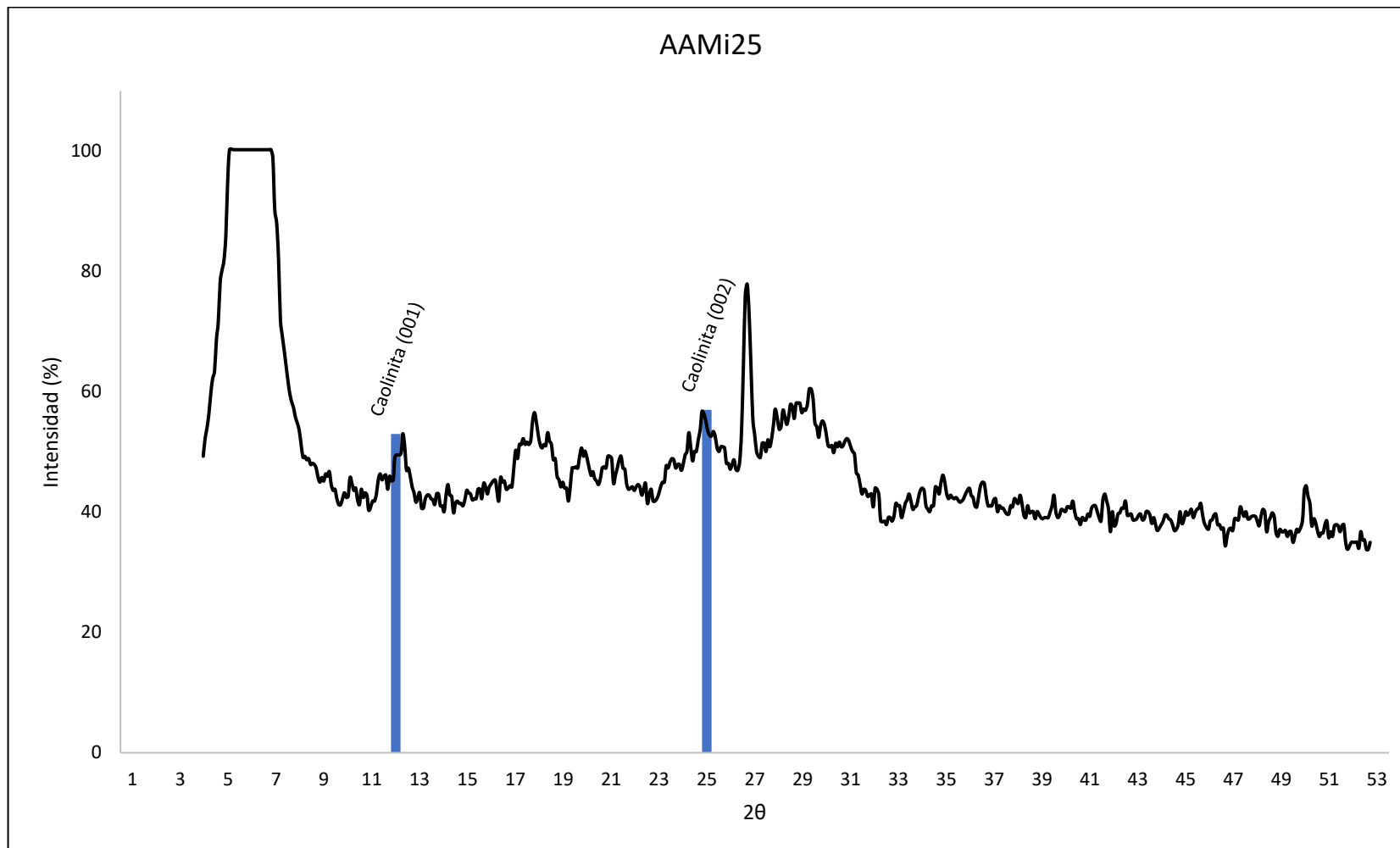


Figura #4.64. Difractograma de la muestra AAMi25 mostrando la caolinita

IV.2.4.4 Illita

Este mineral se encuentra en poca cantidad en una sola muestra la cual es AAMi13.

La figura #4.65 muestra el mapa satelital del Metaconglomerado de Charallave con el punto de recolección de la muestra la cual se encuentra al noreste del poblado de Cua.

La figura #4.66 se trata del mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con la muestra AAMi13 representada.

El difractograma total de la muestra AAMi13 que se observa en la figura #4.67 destaca esta vez los picos de illita 001 y 002 a los 9° y 18° en el eje 2θ respectivamente (espaciamientos d de 7.1 y 4.9 Å) con intensidades relativas de 68% y 58%.

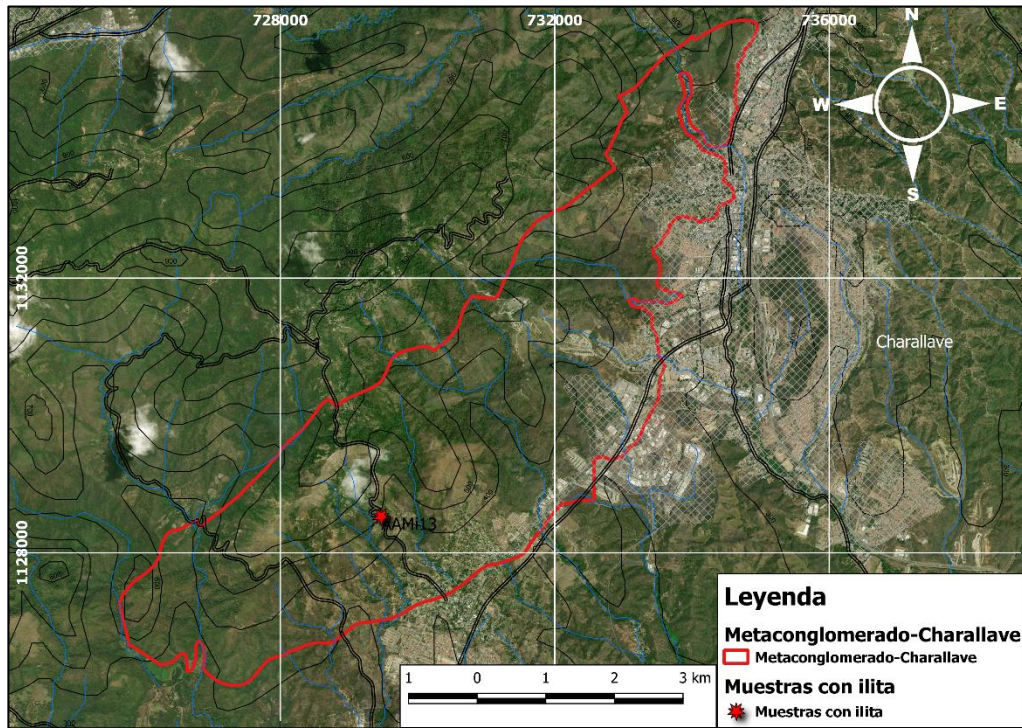


Figura #4.65. Mapa de las muestras con illita en el Metaconglomerado de Charallave

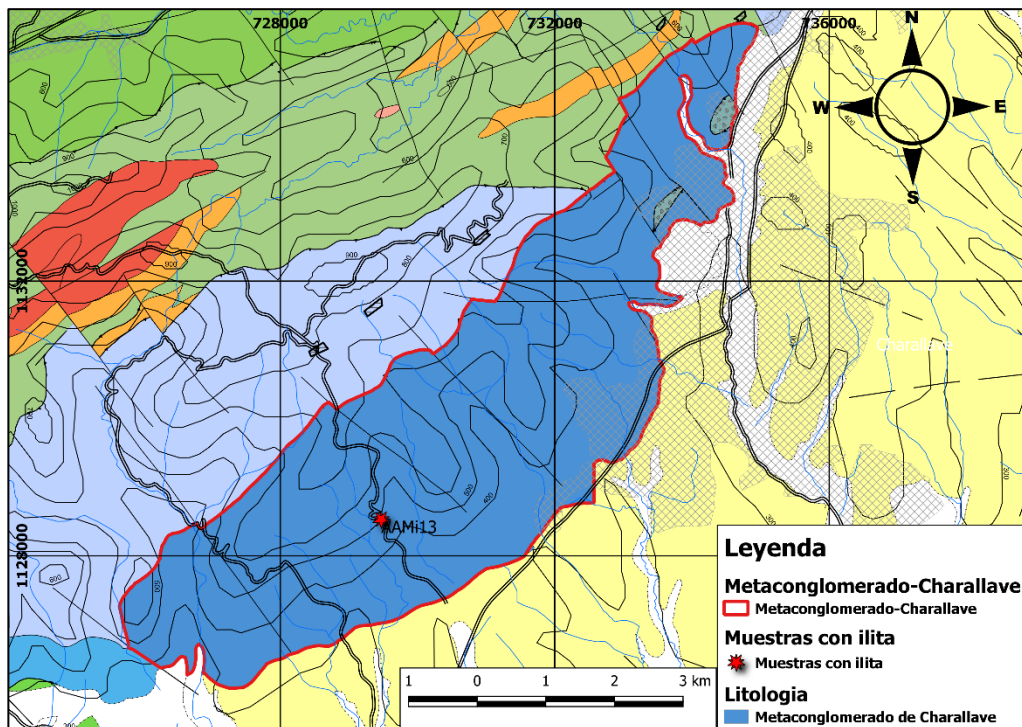


Figura #4.66. Mapa geológico del Metaconglomerado de Charallave con muestras con illita

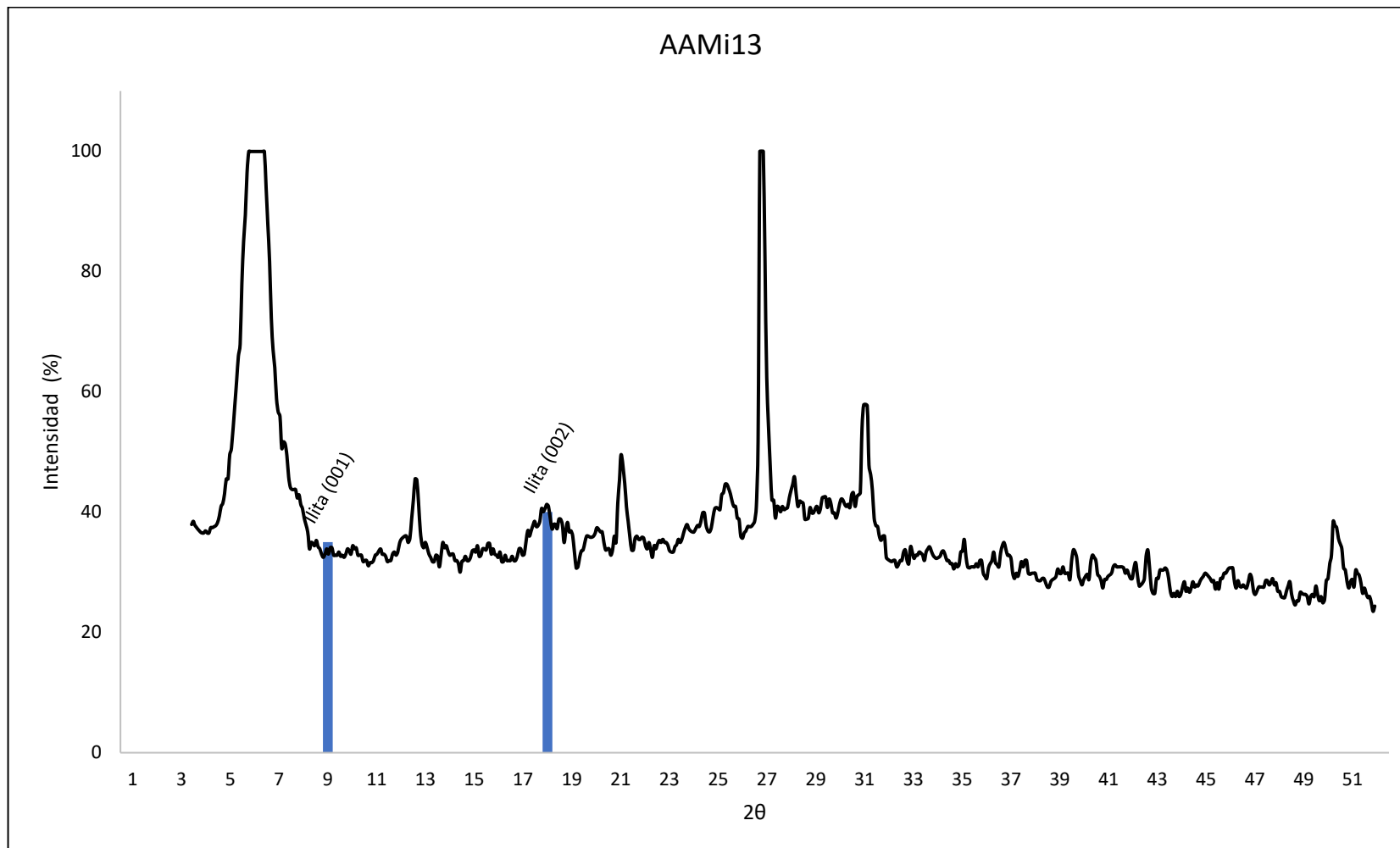


Figura #4.67. Difractograma de la muestra AAMi13 mostrando la illita

IV.2.5 Muestras AAMi3, AAMi5 y AAMi52

La mineralogía de estas muestras se ilustra en la tabla #4.31.

Tabla #4.31 Mineralogía de las muestras AAMi3, AAMi5 y AAMi52

Muestra	Mineralogía
AAMi3	Cuarzo, Montmorillonita, Illita, Caolinita, Goethita, Feldespato
AAMi5	Montmorillonita, Cuarzo, Caolinita, Illita
AAMi52	Vermiculita, Feldespato, Cuarzo

La muestra AAMi3 presenta montmorillonita identificada en el pico en el difractograma total que se encuentra a los 6° en el eje 2θ (espaciamiento interplanar de 14.5 \AA) que en el difractograma glicolado se mueve a los 5.4° (espaciamiento d de 16.3 \AA) debido a la expansión de la montmorillonita. El pico de la illita se ubica a los 8.8° en el eje 2θ (espaciamiento d de 10 \AA) y el de la caolinita a los 12.4° (espaciamiento de 7.1 \AA); estos se observan en la figura #4.68.

La muestra AAMi5 presenta una mineralogía similar a la de la muestra AAMi3. En el caso de esta, el pico de la montmorillonita se ubica a los 6.2° (espaciado d de 14.2 \AA) mientras que en el glicolado se mueve a los 5.6° en el eje 2θ (espaciamiento interplanar de 15.5 \AA). La illita presenta un pequeño pico a los 9° en el eje 2θ (espaciamiento d de 9.9 \AA) mientras que la caolinita muestra un pico bastante intenso a los 12.2° en el eje 2θ (espaciamiento interplanar de 7.1) como se indica en la figura #4.69.

Por último, la muestra AAMi52 únicamente presenta vermiculita como mineral de arcilla; esta se logra identificar por su pico a los 6° en el eje 2θ (espaciamiento d de 14.7 \AA) el cual no se mueve en el difractograma glicolado permaneciendo a los 6° y por tal motivo se logra identificar el mineral como vermiculita tal como se observa en la figura #4.70.

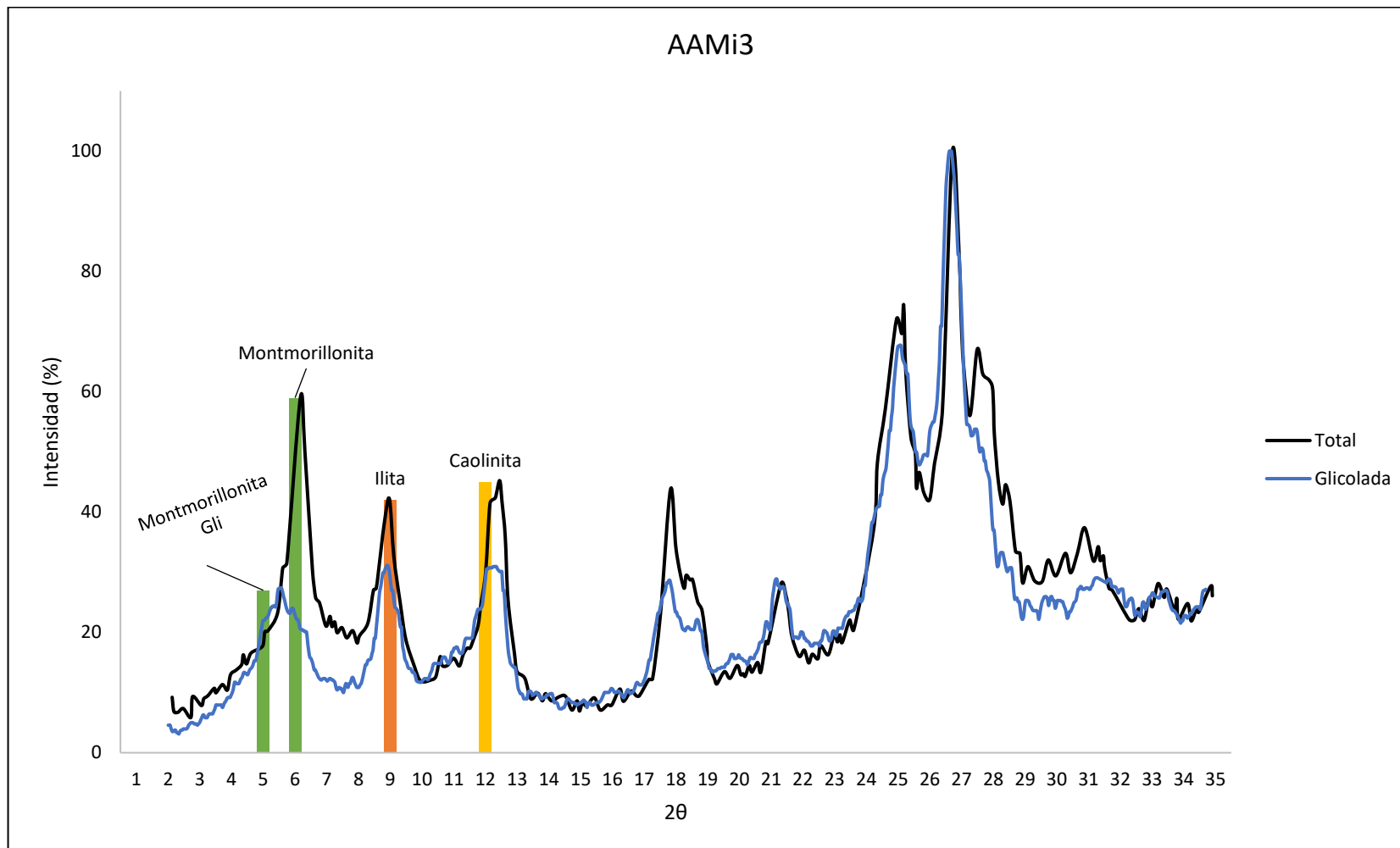


Figura #4.68. Difractograma de la muestra AAMi3

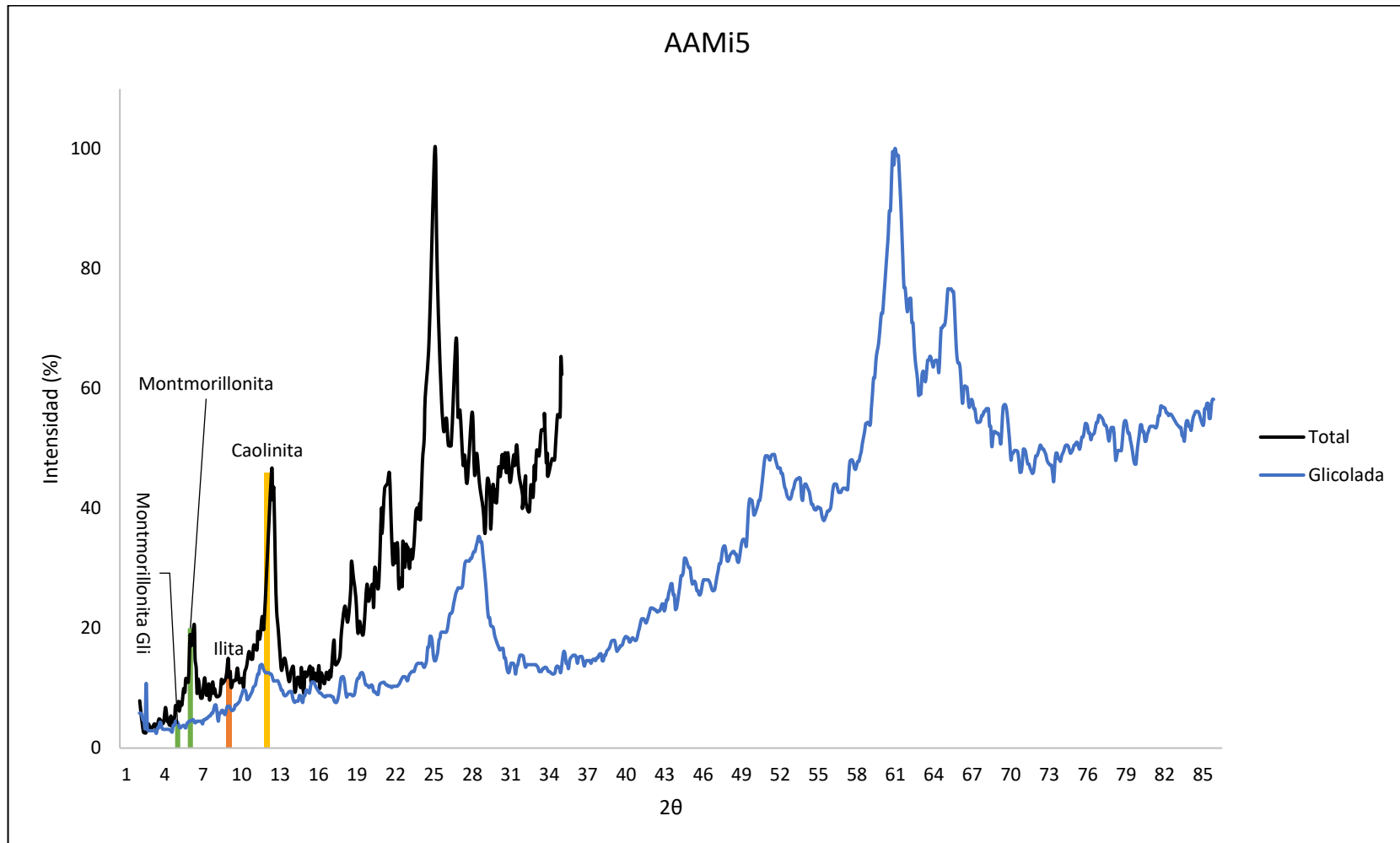


Figura #4.69. Difractograma de la muestra AAMi5

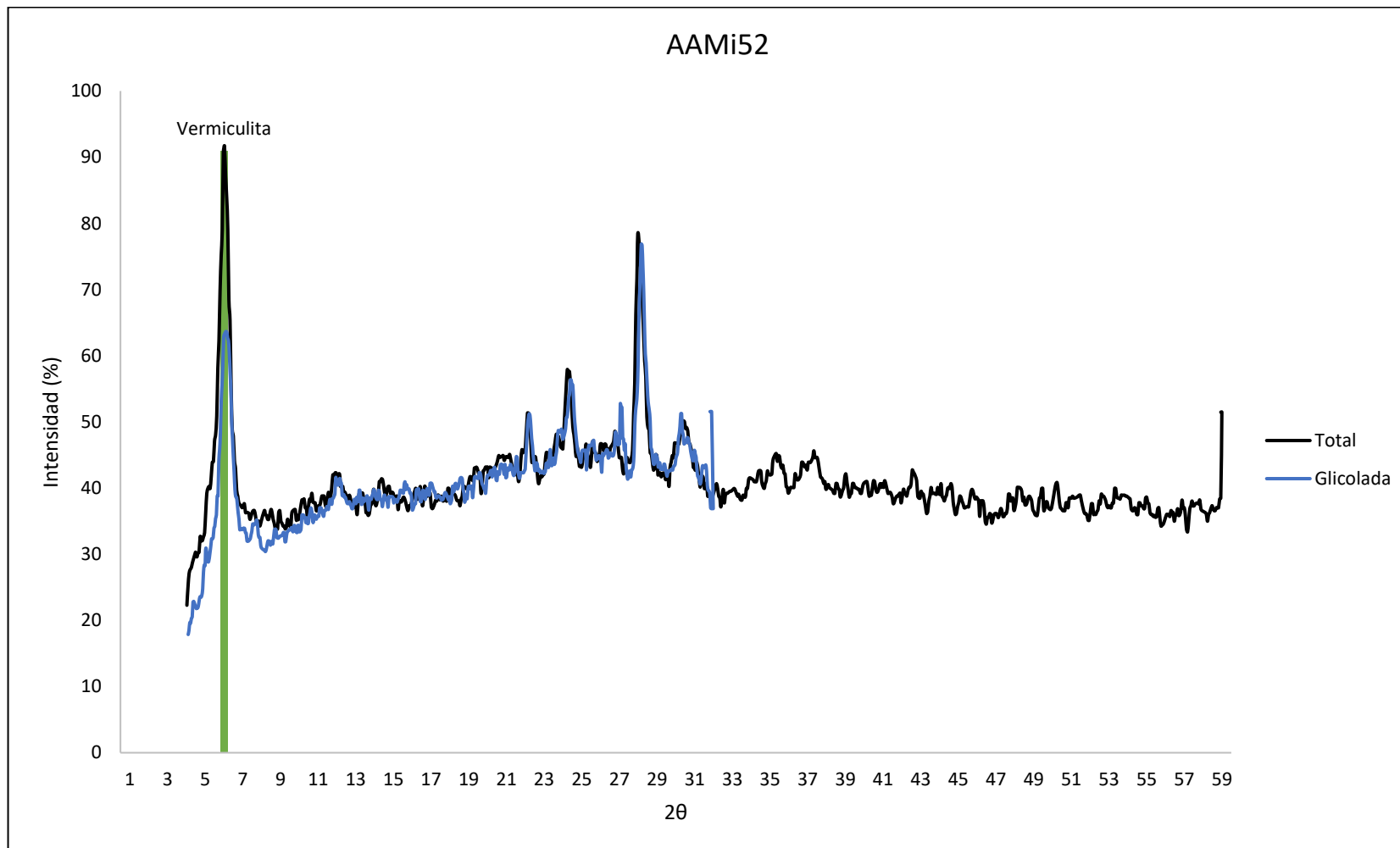


Figura #4.70. Difractograma de la muestra AAMi52

IV.3 ÍNDICE DE SRODON

Eberl y Srodon (1984) establecen que existen tres tipos de materiales de illita que se pueden conseguir en los ensayos de difracción de rayos X; estos son illita pura, intercalación de capas illita/esmectita (principalmente montmorillonita) con predominancia de illita; y combinaciones de las dos anteriores. Estas categorías se logran identificar comparando los difractogramas de muestra natural total y glicolada ya que las capas de esmectita reaccionan con el etil glicol modificando los picos de la misma.

Lo anterior expuesto es el principio del índice de Srodon (o también llamado ratio de illita), el cual hace una relación entre los picos de mayor reflexión de illita seca al aire y glicolada los cuales son el 001 cuyo espacio interplanar se encuentra entre los 9.8 y 10.1 Å (2θ entre 9.0° y 8.6° respectivamente); y 003 con un espacio interplanar que va desde los 3.2 hasta los 3.36 Å (2θ entre 26.7° y 26.9°); y si existe expansión en algún grado (es decir que se trata de una intercalación con predominancia de illita o mezcla de materiales) el índice daría un valor mayor a 1.

El valor de intensidad de la illita 003 se suele encontrar solapado con el del cuarzo 101 por lo que obtener el valor necesario para la ecuación del índice de Srodon (I_r) se vuelve complicado; sin embargo, Eberl y Srodon (1984) implantan una serie de condiciones las cuales permiten determinar si la illita determinada en un difractograma expone algún tipo de expansión sin necesidad de utilizar la ecuación establecida. Para determinar esto se hace uso del difractograma de la muestra glicolada y se observan los siguientes aspectos:

- La reflexión de illita 001 se desplazó hacia un ángulo mayor y la de illita 002 hacia un ángulo menor
- La intensidad de la illita 001 decrece en relación a la de illita 003.

Al cumplirse estas condiciones se sabrá que I_r será mayor a 1.

Ya que el cuarzo 101 no reacciona con el etil glicol, todo cambio que se produzca en ese pico deberá su causa a la interacción entre la illita 003 y el etil glicol, por lo tanto, es posible determinar si la illita de una muestra de arcilla presenta capas interestratificadas de esmectita expandibles en algún grado por este método.

A continuación, se presentará la tabla #4.32 con el resultado de la expansividad de la illita de cada muestra, así como la presencia de esmectita entre las capas de illita.

Tabla #4.32. Expansividad y presencia de esmectita en illita

Muestra	Expansividad	Presencia de esmectita
AAMi1	No determinado	No determinado
AAMi2	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi3	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi4	No determinado	No determinado
AAMi5	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi6	No determinado	No determinado
AAMi7	No determinado	No determinado
AAMi8	No determinado	No determinado
AAMi9	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi10	No determinado	No determinado
AAMi11	No determinado	No determinado
AAMi12	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi13	No determinado	No determinado
AAMi14	No determinado	No determinado
AAMi15	No determinado	No determinado
AAMi16	No determinado	No determinado
AAMi17	No determinado	No determinado
AAMi18	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi19	No determinado	No determinado
AAMi20	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi21	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi22	No determinado	No determinado
AAMi23	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi24	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi25	No determinado	No determinado
AAMi26	No determinado	No determinado
AAMi27	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi28	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi29	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi30	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi31	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura

Tabla #4.32. Expansividad y presencia de esmectita en illita. Continuación

Muestra	Expansividad	Presencia de esmectita
AAMi32	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi33	No determinado	No determinado
AAMi34	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi35	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi36	No determinado	No determinado
AAMi37	No determinado	No determinado
AAMi38	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi39	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi40	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi41	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi42	No determinado	No determinado
AAMi43	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi44	No determinado	No determinado
AAMi45	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi46	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi47	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi48	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi49	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi50	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi51	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi52	No determinado	No determinado
AAMi53	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi54	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi55	No determinado	No determinado
AAMi56	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi57	No determinado	No determinado
AAMi58	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAMi59	No determinado	No determinado
AAMi60	No determinado	No determinado
AAMi61	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi62	No determinado	No determinado
AAMi63	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi64	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi65	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi66	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi67	No determinado	No determinado
AAMi68	No determinado	No determinado
AAMi69	No determinado	No determinado
AAMi70	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi71	No determinado	No determinado
AAMi72	No determinado	No determinado

Tabla #4.32. Expansividad y presencia de esmectita en illita. Continuación

Muestra	Expansividad	Presencia de esmectita
AAMi73	No determinado	No determinado
AAMi74	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi75	No determinado	No determinado
AAMi76	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAMi77	No determinado	No determinado
AAMi78	No determinado	No determinado
AAMi79	No determinado	No determinado
AAMi80	No determinado	No determinado

Como se puede apreciar, la mayoría de las muestras que presentan illita en realidad son una intercalación de láminas de illita y esmectita con abundancia de esta primera.

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1 GENERALIDADES

El siguiente capítulo tiene la finalidad de interpretar los resultados presentados para poder explicar desde un punto de vista geológico el origen de los minerales de arcilla encontrados en cada muestra; y finalmente poder recomendar un uso para cada material. El análisis se hizo partiendo de la diferenciación de las cuencas sedimentarias hecha en el capítulo anterior, explicando luego el origen de cada mineral de arcilla que se encuentra en esa sección.

A continuación, se presenta un análisis de cada mineral de arcilla que se hizo a partir de las cuencas definidas en capítulos anteriores; en esos apartados se realiza una relación entre la geología de la zona donde se recolectaron las muestras y los minerales de arcilla presentes para así poder determinar el origen de estos. En el caso de las muestras AAMi3, AAMi5 y AAMi53 este es el único análisis presentado debido a su aislamiento respecto al resto de muestras, por lo que pretender explicar algún punto que se describe a continuación sería muy especulativo y no aportaría mayor información.

Seguidamente al análisis de los minerales de arcilla se presentan una serie de recomendaciones de usos para estos. Estas recomendaciones se realizan con base a la mineralogía y no se toman en cuenta otras propiedades importantes para cada área, esto se debe tener presente al momento de leer las mismas. También es importante destacar que los minerales de arcillas tienen muchas utilidades en la actualidad, y las que se presentan a continuación no se deben tomar como los únicos posibles.

Finalmente se exponen consideraciones realizadas a las muestras con minerales de arcilla expansivos, principalmente la montmorillonita; cosa que puede servir como punto de partida para estudios de suelos en obras civiles.

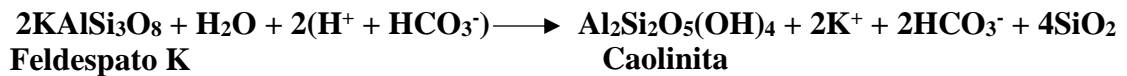
Antes de analizar los minerales de las cuencas es importante tener presente ciertos aspectos y conceptos relacionados a la génesis de los minerales de arcilla que

se encontraron en la cuenca; por lo tanto, es necesario explicar los diversos procesos que actúan para generar los diferentes tipos de estos minerales.

En primera instancia Ayala *et al.* (1986) expresan que los minerales de arcilla constituyen el último eslabón en la cadena de alteración de los minerales silicatados; haciendo una extrapolación de esta afirmación con el conocido ciclo geológico o ciclo de las rocas es posible hacer la asociación del mencionado último eslabón con los procesos de erosión y meteorización que ocurren en el momento en que las rocas (sin importar su tipo) emergen y quedan expuestas a factores atmosféricos; la interacción entre estos procesos “climáticos” exógenos y las rocas expuestas a condiciones diferentes a las de su formación producen sedimentos que son transportados y se depositan en cuencas sedimentarias para posteriormente ser soterrados y litificados bajo un proceso diagenético. Esta aclaratoria puede sintetizarse en que los minerales de arcilla están fuertemente ligados a los procesos de meteorización y erosión que forman sedimentos y que actúan en las rocas expuestas. Estos mismos autores también alegan que los minerales arcillosos pueden formarse bajo dos tipos de modelos; o en suelos residuales por alteración *in situ* de minerales; o en sedimentos por transformación de minerales previos o neoformación a partir de los iones ya existentes en el medio; al mismo tiempo destacan que si es suelo residual sufre un proceso de transporte y se incorpora con otros materiales, el sedimento final tendrá minerales de arcillas heredados de fuentes diferentes; esto último es de gran importancia ya que es un caso común en las cuencas sedimentarias de gran envergadura.

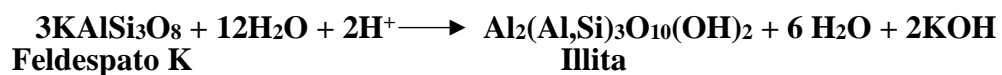
También Ayala *et al.* (1986) explican que el proceso que afecta en mayor medida a la alteración de minerales para formar arcillas es la hidrólisis; esto se ratifica con los autores Lutgens y Tarbuck (2005) los cuales atribuyen a este proceso como la principal causa de descomposición de los silicatos; estos autores dicen que la hidrólisis no es más que la interacción y reacción de cualquier sustancia con el agua. La hidrólisis actúa cuando las moléculas de agua se disocian dejando como remanente iones de hidrógeno (H^+) e hidroxilo (OH^-); estos son muy reactivos y al entrar en contacto con un mineral el hidrógeno “ataca” y sustituye a los iones positivos en la estructura

cristalina destruyendo la disposición de esta. Lutgens y Tarbuck (2005) también mencionan que en la naturaleza el agua suele estar cargada con otras sustancias como dióxido de carbono (CO₂) la cual es extremadamente común y puede reaccionar con el agua para formar ácido carbonático (H₂CO₃) el cual al ser ionizado forma hidrógeno libre (H⁺) y bicarbonato (HCO₃⁻); este finalmente puede reaccionar con el feldespato potásico que se encuentre en alguna roca y formar caolinita al sustituir los iones de potasio por el hidrógeno como se ilustra en la siguiente reacción esquemática.



Si bien los minerales de arcilla son originados a partir de la meteorización química (hidrólisis) de otros minerales, Ayala *et al.* (1986) señalan que las condiciones iniciales repercutirán de manera drástica en el resultado final de este proceso, entendiéndose por estas condiciones como la naturaleza y composición química de la roca; así como las condiciones ambientales que se traducen en el grado de meteorización de los minerales.

La illita es el mineral de arcilla neoforado que se genera en primera instancia al momento que minerales aluminosilicatos con potasio entran en contacto con la atmósfera como lo señalan Ayala *et al* (1986) y confirman Eberl y Srodon (1984) los cuales hacen referencia a que el primer elemento generado por la meteorización de feldespatos potásicos al entrar en contacto con condiciones ambientales es este mineral de arcilla. Estos autores también expresan que la moscovita puede ser un buen material inicial para la formación de illita ya que como explican Ayala *et al* (1986) durante el transporte, esta mica se hidrata y pierde iones de potasio. En la siguiente reacción esquemática se ejemplifica el proceso de formación de illita a partir de feldespato potásico,



La clorita según Dana (1960) es un mineral secundario que se origina por la alteración de silicatos ferromagnesianos como piroxenos, anfíboles y biotita. Suele encontrarse en rocas que han experimentado cambios metamórficos, aunque también puede ser depositada en soluciones hidrotermales. La clorita puede aparecer en suelos y sedimentos como granos de arcilla por la meteorización de cristales más grandes; sin embargo, autores como Dana (1960) y Ayala *et al.* (1986) hacen mención de cloritas por meteorización química de minerales ferromagnesianos especialmente en rocas ígneas. Estos últimos autores colocan a la clorita como mineral de neoformación primaria a partir de rocas máficas ricas en minerales con hierro y magnesio.

En el caso de la vermiculita; Gisbert *et al* (2011) alegan que se forman a partir de las rocas básicas, aunque también puede aparecer por el intercambio catiónico del ion potasio (K^+) por magnesio (Mg^{+2}) en ciertas micas hidratadas. Dana (1960) por su parte dice que la vermiculita aparece por la alteración de la biotita, pero en esta el ión potasio (K^+) es sustituido por moléculas de agua que al calentarse se evapora y le da al mineral ese comportamiento característico de dilatación en forma vermicular. Gisbert *et al.* (2011) también hacen referencia a que la vermiculita puede aparecer en diversas condiciones de meteorización que van desde zonas polares hasta tropicales y que suele ser común en sedimentos y suelos que han sufrido meteorización química sin llegar a condiciones extremas como en climas tropicales.

La montmorillonita tiene un origen parecido a la illita ya que deriva de la meteorización de minerales aluminosilicatos con la diferencia de que el potasio tan importante para la illita es remplazado por calcio para la montmorillonita como lo menciona Lara (2014); a su vez, Hendricks y Ross (1945) determinan que la montmorillonita debe su origen a la meteorización de feldspatos cálcicos como la anortita presente en rocas ígneas y metamórficas. Las condiciones necesarias para la formación de la montmorillonita son descritas por Ayala *et al.* (1986) como drenajes incipientes y mal desarrollados sobre suelos que puedan ser transportados; estos mismos autores también señalan que debido a la alta concentración iónica necesaria para la génesis de este mineral, suele acompañarse de sales ricas en calcio y hierro.

Finalmente, la caolinita merece una mención especial ya que según varios autores entre los que destacan Ayala *et al.* (1986) y Lara (2014) las condiciones a las que deben ser sometidas las rocas para formar este mineral son diferentes al de resto de arcillas; destacando una intensa meteorización química con drenajes bien desarrollados propios de climas tropicales. En cuanto a las condiciones mineralógicas iniciales, Dana (1960) argumenta que la caolinita surge de la meteorización de aluminosilicatos destacando el feldespato, aunque también puede surgir de ciertas micas como la moscovita e incluso minerales de arcilla como illita.

V.2 CUENCA DE BARLOVENTO

La cuenca de Barlovento fue dividida en dos secciones usando el río Tuy como eje de esta división; de esta manera se definieron las subcuencas Barlovento Norte y Barlovento Sur.

V.2.1 Cuenca Barlovento Norte

La cuenca Barlovento Norte es la que más variación litológica presenta tomando como base a las formaciones sedimentarias que se han definido, destacando la Formación Aramina, Formación Caucagua, Formación Mamporal; además de los sedimentos aluviales cuaternarios que se encuentran en los cauces de los drenajes. El aporte de sedimentos de esta cuenca proviene de la Serranía de Litoral al norte, aunque el río Tuy funge como principal fuente de transporte debido a su gran caudal y dimensión ya que recorre toda la cuenca de este a oeste. Por lo tanto, es natural considerar que los sedimentos que se encuentran en la cuenca, ya sean de formaciones sedimentarias mio-pliocenas como de aluviones recientes, están influenciados por estas fuentes de transporte. En cuanto al clima que se presenta en la cuenca y sus alrededores; Zambrano (1970) expresa que la cuenca de Barlovento y sus alrededores se caracterizan por climas tropicales cálidos según la clasificación de Koeppen; con tipo zonal monzónico hacia la zona oeste de la cuenca en los poblados de Caucagua y Capaya donde las precipitaciones anuales se encuentran entre 2000 y 1500 mm y la humedad

media es superior al 80%; y en la parte este el tipo zonal es de sabanas y bosques tropófitos que van desde Tacarigua de Mamporal hasta la llanura de Barlovento, con precipitaciones entre 1200 a 1600 mm y humedad promedio de 78%. Las variaciones entre humedad y precipitación anual dan a entender que la meteorización química es más intensa en las zonas montañosas y piemontinas en los bordes de la cuenca donde se encuentran las unidades litodémicas de la Serranía de Litoral; esto da a entender que la meteorización química actúa de manera activa al igual que las fuentes de transporte en forma de drenajes.

V.2.1.1 Análisis de minerales de arcilla

En la cuenca de Barlovento Norte se detectaron los cinco tipos de minerales de arcillas que se mencionaron en capítulos anteriores; esto da a entender que el aporte de sedimentos a la cuenca es de naturaleza variada, aunque predominan cierto tipo de minerales como la illita. A continuación, se presenta un análisis de cada mineral con el fin de asociar la litología y los procesos de meteorización con la génesis de los mismos.

V.2.1.1.1 Illita

La illita es el mineral que más se encuentra en la cuenca; Eberl y Srodon (1984) mencionan varios procesos de cristalización de esta, entre ellos se encuentra la neoformación superficial a partir de la meteorización de minerales ricos en aluminio y potasio; como el feldespato que se encuentra en las muestras de las formaciones sedimentarias, por lo que el origen de la illita probablemente se deba a la meteorización de este mineral al ser sometido a condiciones ambientales. Otro mineral que también puede meteorizarse y originar illita es la moscovita que es muy abundante en las unidades litodémicas al norte de la cuenca y que son una fuente de aporte de sedimentos muy importante; como el Esquisto de Las Mercedes definido como esquisto cuarzo – moscovítico – calcítico - grafitoso (González de Juana *et al.* 1980. Vale la pena acotar que estos autores utilizan el término “Formación Las Mercedes”. El término “Esquisto Las Mercedes” se acuña como unidad litodémica en el Léxico Estratigráfico de Venezuela del año 1997 a raíz del trabajo de actualización de Urbani publicado en 1999; esa versión del léxico cambio el estatus de las “Formaciones” ígneo-

metamórficas por su nombre litodémico), o el Esquisto de Las Brisas que principalmente se trata de esquisto cuarzo – feldespático – moscovítico (González de Juana *et al.* 1980). A continuación, se presenta una reacción esquemática de la formación de la illita a partir de feldespato potásico recuperada de Lara (2014).

V.2.1.1.2 Vermiculita

La vermiculita tiene un origen parecido al de la illita, ya que proviene de la alteración de otro mineral, en este caso es la biotita la que al interaccionar con condiciones ambientales da origen a las hojas de vermiculita (Dana, 1960). También puede originarse por la meteorización de minerales máficos como anfíboles. Al igual que la illita, la presencia de este mineral en esta zona de la cuenca de Barlovento parece asociada a la meteorización de minerales que se encuentran en unidades metamórficas y metaígneas que se encuentran alrededor como la Fillita de Urape que según Seiders (1965) están compuestas por cantidades importantes de fragmentos volcánicos; o el Complejo de San Julián que según Carpintery (2019) presenta litologías diversas entre las que destacan rocas metaígneas máficas como metagabros.

V.2.1.1.3 Caolinita

La caolinita tiene la particularidad de que se encontró especialmente en muestras provenientes de sedimentos aluviales recientes; aunque también en las tres muestras recolectadas del Miembro Carenero de la Formación Aramina al suroeste de la cuenca, con la salvedad de que en esta los picos de caolinita tengan poca intensidad; y la muestra AAMi40. Este mineral, al igual que la illita es neoforado a través de la meteorización de aluminosilicatos potásicos como los feldspatos tal como declara Lara (2014); sin embargo, la caolinita tiene condiciones de formación diferentes a la illita, ya que suele aparecer en entornos con mayor precipitación (meteorización química) y desilicatación.

Aunque las condiciones para la génesis de estos minerales sean diferentes, se encuentran juntos en la mayoría de las 12 muestras en las que se detectó caolinita exceptuando la AAMi57 recolectada del Miembro Carenero y la AAMi40 de la Formación Aramina; la explicación más probable de que estos minerales de

condiciones diferentes se encuentren juntos es que los sedimentos aluvionales recientes de esta parte de la cuenca se traten de una combinación de material meteorizado a diferentes grados y proveniente de diversas fuentes a través de los sistemas de drenajes. Prueba de esto es que las formaciones sedimentarias más antiguas del norte de la cuenca donde se detectó feldespato, también tienen mineral de illita pero no caolinita, ya que la primera se forma de manera *in situ* mientras que la segunda proviene de la meteorización de las rocas de la Cordillera de la Costa y es transportada hasta las zonas más bajas donde se encuentran los sedimentos aluvionales recientes. Aunque tampoco se puede descartar la posibilidad de que ambos minerales llegaran a la cuenca en suspensión a través de drenajes desde zonas más lejanas.

V.2.1.1.4 Montmorillonita

En la subcuenca Barlovento Norte cuatro de las seis muestras en las que se detectó montmorillonita pertenecen a la Formación Caucaagua. Lara (2014) atribuye la presencia de montmorillonita a lo largo de los sedimentos depositados alrededor del río Tuy a la meteorización de rocas ígneas máficas como la Metatoba del Chino que se encuentra al oeste de la cuenca. Si bien la montmorillonita no parece muy abundante, es posible que la mayoría de este mineral se encuentre en capas intercaladas con abundancia de illita, por lo que se confundiría con esta.

V.2.1.1.5 Clorita

La clorita se puede originar de manera similar a la vermiculita por meteorización de la biotita, anfíboles y piroxenos; en general, es producto de la meteorización de minerales ricos en aluminio, hierro +2 y magnesio. En los difractogramas orientados este mineral se suele confundir con la vermiculita y montmorillonita, y a diferencia de estos dos que se pueden diferenciar con un ensayo glicolado, la clorita requiere un ensayo de cocción a 550 °C para poder identificarse de manera correcta, por lo que es posible que existan muestras con este mineral pero que no se logra observar. Este mineral posiblemente sea resultado de la meteorización de rocas metaígneas alrededor de la cuenca como las Fillitas de Muruguata que según

Seiders (1965) presenta intercalaciones de rocas metavolcánicas, o el Complejo Conoropa descrito por el mismo autor el cual hace mención de metatobas y metalavas.

V.2.1.2 Usos de las arcillas

Los usos que se le pueden dar a las arcillas se presentan como recomendaciones en base a al tipo de mineral de arcilla y sus características físicas, químicas y cristalográficas ya que estas le otorgan las propiedades necesarias para la finalidad que se les asigna.

V.2.1.2.1 Cerámicas

La illita y caolinita son arcillas blancas tal como menciona Rodríguez (1986); estas se usan para elaborar cerámicas y porcelanas, en tal sentido, las muestras que se presentan en la tabla #5.1 son las más adecuadas para ese tipo de utilidad industrial en base a su contenido mineralógico.

Tabla #5.1. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para elaboración de cerámicas

Muestras	Muestras
AAMi6	AAMi53
AAMi11	AAMi55
AAMi40	AAMi60
AAMi42	AAMi61
AAMi44	AAMi62

V.2.1.2.2 Alfarería

Barreto y Godoy (2018) mencionan que las arcillas más utilizadas para la elaboración de ladrillos, tejas y demás elementos relacionados con la alfarería son aquellas que tienen buen contenido de sílice y aluminio; esto es ratificado por Castro y Rivero (2010) quienes añaden que el porcentaje de óxido de silicio para elaborar productos alfareros como ladrillos y tejas debe estar entre el 65 y 83% de la arcilla, mientras que el óxido de aluminio debe ser entre 9 y 21%; otros elementos que mencionan aunque no con tanta importancia son el potasio y sodio; y el óxido de hierro que suele dar la coloración a estos materiales. En tal sentido, la combinación de illitas con caolinitas favorece en gran medida la elaboración de estos, por lo que se

seleccionaron las muestras que contienen ambos minerales las cuales se observan en la tabla #5.2, aunque es importante recalcar que las proporciones de los mismos no se tienen en cuenta para las recomendaciones de los usos por lo que se requieren análisis cuantitativos para determinar si las arcillas presentes son útiles para alfarería o para cerámicas.

Tabla #5.2. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para uso en alfarería

Muestras	Muestras
AAMi6	AAMi53
AAMi11	AAMi55
AAMi40	AAMi60
AAMi42	AAMi61
AAMi44	AAMi62

V.2.1.2.3 Caolín

Si bien la región con mayor concentración de caolín explotable en Venezuela se encuentra en el estado Bolívar como declara Rodríguez (1986), en la cuenca Barlovento Norte la caolinita se encontró en varias muestras por lo que es posible que puedan existir yacimientos de interés en la zona; sin embargo, es necesario determinar la cantidad de este mineral en las muestras por lo que se deben realizar análisis cuantitativos para determinar si las mismas presentan interés comercial. Las muestras recomendadas para este fin se encuentran en la tabla #5.3

Tabla #5.3. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para caolín

Muestras
AAMi6
AAMi40
AAMi44
AAMi55
AAMi61

V.2.1.2.4 Lodo Bentonítico

El mineral de arcilla más importante en la elaboración del lodo bentonítico es la montmorillonita debido a su gran capacidad de absorción de agua, por lo tanto, se

seleccionaron las muestras en las que se determinó la presencia de este mineral. Aunque también es importante mencionar que la montmorillonita no es la única especie mineral de arcilla en las muestras, por lo que es recomendable realizar más estudios para determinar el porcentaje de material inerte (no expansivo) como illitas y caolinitas y así establecer la eficiencia de absorción de agua que es necesaria para el lodo bentonítico. Las muestras que se recomiendan para la elaboración este lodo aparecen en la tabla #5.4 a continuación

Tabla #5.4. Muestras de la cuenca Barlovento Norte recomendadas para elaboración de lodo bentonítico

Muestras
AAMi2
AAMi41
AAMi43
AAMi54
AAMi59

V.2.1.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas

Si bien en esta cuenca no se detectó gran presencia de montmorillonita el cual es el mineral del grupo de las esmectitas por excelencia; si se puede destacar la presencia de la misma una sección de la vía que conecta Capaya con Tacarigua del Mamporal donde se encuentran las muestras AAMi41, AAMi43 y AAMi59 las cuales presentan montmorillonita. En tal sentido, se debe tener en consideración al momento de plantear obras civiles en dicho tramo.

Otra zona importante a tener en cuenta es la vía que va desde Higuerote hasta Birongo a noreste de la cuenca. En ella las muestras AAMi61, AAMi63, AAMi64, AAMi65 y AAMi66 si bien no se detectó montmorillonita, la illita presenta capas intercaladas de esmectita siendo esta un mineral tipo illita/esmectita que tiende a expandirse debido a estas capas.

Este caso se repite en las muestras AAMi53 y AAMi54 ya que, si bien en la última si se logró identificar montmorillonita, en la muestra AAMi53 no se detectó,

pero si se determinó la presencia de mineral illita/esmectita por lo que presenta algún grado de expansividad.

V.2.2 Subcuenca Barlovento Sur

Esta cuenca presenta una variación litológica más limitada ya que solo cuenta con la Formación Caucagua como representante de unidad formal y el resto está representado por sedimentos aluviales recientes. En el caso de esta cuenca los aportes de sedimentos, además de proceder del cauce del río Tuy, se encuentran en los drenajes del sur que transportan los materiales enmarcados en las unidades litodémicas y sedimentarias. En las unidades ígneo-metamórficas destacan el Basalto de Las Hermanas y Granofel de Santa Isabel mientras que las sedimentarias que se encuentran al este corresponden a rocas consolidadas más antiguas que las que se encuentran en la cuenca como la Formación Garrapata, Formación Los Cajones y Formación Guárico. El clima es similar al de Barlovento Norte con la particularidad de que la zona de Guatopo es una selva tropical con abundante lluvia no menor a los 60 mm mensuales según Zambrano (1970) por lo que los drenajes y la meteorización química por hidrólisis actúan de manera activa en los procesos dinámicos de generación y transporte de sedimentos.

V.2.2.1 Análisis de minerales de arcilla

En esta cuenca se encuentran todos los minerales menos la clorita; esta podría estar confundiendo con la vermiculita debido a que no se cuentan con los ensayos necesarios para diferenciarlas.

V.2.2.1.1 Caolinita

La caolinita en esta subcuenca se encontró en todas las muestras; la explicación a esto es que las unidades litológicas que aportan sedimentos en esa sección de la cuenca son principalmente sedimentarias destacando la Formación Garrapata y la Formación Los Cajones (antes llamada Miembro Los Cajones asociada a la Formación Guárico). La Formación Garrapata según Carpintery (2019) está compuesta por

conglomerados basales, grauvacas líticas, limolitas y lutitas; y la Formación Los Cajones descrita por la misma autora está conformada por una secuencia de *flysch* que abarca el 60% de la unidad, el resto serían olistolitos de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, principalmente calizas. La caolinita que se encuentra en las muestras de la cuenca probablemente provenga de la meteorización de los feldespatos y micas que conforman las rocas sedimentarias al sur de la cuenca y que son las principales fuentes de sedimentos a través de drenajes.

V.2.2.1.2 Illita

La illita se encontró en casi todas las muestras excepto la AAMi79 y AAMi80 que se hallan en el mismo punto. Al igual que la caolinita, el origen de la illita se debe a la meteorización de los feldespatos alcalinos, los cuales se encuentran en las unidades sedimentarias del sur de la cuenca. Como se mencionó anteriormente, la caolinita y la illita tienen un origen parecido pero las condiciones en las cuales se forma estos minerales son diferentes ya que la caolinita necesita un mayor grado de meteorización química y desilificación; y ya que estos minerales se encuentran en las mismas muestras, la explicación más plausible es que se está en presencia de sedimentos aluviales de diferente grado de meteorización mezclados por los diversos medios de transporte como drenajes.

V.2.2.1.3 Vermiculita

La vermiculita se encuentra en las mismas muestras que la illita, y como se mencionó anteriormente debe su origen a la meteorización de minerales ricos en magnesio como la biotita o algunos anfíboles. El origen de este mineral tan abundante en esta parte de la cuenca se debe a las unidades metaígneas del sur de la cuenca como el Basalto de Las Hermanas, el cual está compuesto por metalavas, metatobas y metabrechas (Carpintery, 2019); y también a las formaciones sedimentarias Garrapata y Los Cajones. Fournier (1999) describe la unidad hacia el área de Guatopo al sur de la cuenca y menciona que los conglomerados y grauvacas de la Formación Garrapata son muy ricos en fragmentos líticos de hasta 10 cm encontrándose principalmente rocas ígneas volcánicas (tobas y lavas), plutónicas máficas (dioritas, piroxenitas,

hornblenditas) y metamórficas (esquistos; en el caso de la Formación Los Cajones, los olistolitos de la misma se componen de varias rocas ígneas y metamórficas que pudieron servir de fuente de los minerales necesarios para la formación de vermiculita.

Con base a lo anterior planteado, el origen de la vermiculita en esta sección de la cuenca probablemente sea debido a la meteorización y aporte de sedimentos de unidades ígneas como el Basalto de Las Hermanas; y a secciones de formaciones sedimentarias como los conglomerados basales y grauvacas de la Formación Garrapata, y los olistolitos ígneos y metamórficos de la Formación Los Cajones.

V.2.2.1.4 Montmorillonita

La montmorillonita se encontró únicamente en dos muestras con la particularidad que estas son las más cercanas al cauce del río Guapo. El origen de la montmorillonita probablemente sea similar a la de la vermiculita en esta parte de la cuenca ya que este mineral es producto de la meteorización de minerales ricos en calcio y aluminio tal como la plagioclasa cálcica y algunos anfíboles y piroxenos, los cuales se encuentran en las unidades ígneas y metamórficas del sur de la cuenca como el Basalto de Las Hermanas, Granofel de Santa Isabel o hasta partes del Terreno de Villa de Cura. Aunque por la cercanía de las muestras al río Guapo, es más probable que la montmorillonita provenga de los fragmentos de roca ricos en anfíboles que se encuentran en los conglomerados de la Formación Garrapata, los cuales son transportados por este río. Hay que destacar que con este mineral ocurre algo similar a la cuenca Barlovento Norte y es que se encuentra en intercalaciones con láminas de illita donde esta predomina, por lo que la presencia de este mineral es mayor a la reportada.

V.2.2.2 Usos de las arcillas

En esta cuenca debido a la abundancia de caolinita e illita se considera que el mejor uso que se le puede dar a las arcillas que se encuentran en esta zona es en el área de la alfarería; aunque también se presentaron dos muestras aptas para el estudio con el fin de determinar si servirían para elaborar bentonita.

V.2.2.2.1 Alfarería

Como se mencionó anteriormente, las muestras más aptas para elaborar ladrillos y tejas son las que cuentan con caolinita e illita en su mineralogía como aseguran Barreto y Godoy (2018). En tal sentido, se establecieron las muestras que servirían para la fabricación objetos en alfarería las cuales se presentan en la tabla #5.5

Tabla #5.5. Muestras de la cuenca Barlovento Sur recomendadas para uso en alfarería

Muestras	Muestras
AAMi69	AAMi74
AAMi70	AAMi75
AAMi71	AAMi76
AAMi72	AAMi77
AAMi73	AAMi78

V.2.2.2.2 Caolín

Debido a la gran presencia de caolinita en esta cuenca, es recomendable realizar estudios para determinar si existen yacimientos de interés que puedan ser usados como caolín.

V.2.2.2.3 Lodo bentonítico

La bentonita no es más que montmorillonita sódica en concentraciones explotables comercialmente como define Scremin (2019). En la cuenca se encontraron únicamente en dos muestras que presentan montmorillontia; y además acompañada de caolinita y otros minerales no expansivos, por lo que se deberían realizar estudios adicionales para determinar si la capacidad de absorción de agua es adecuada para la elaboración del lodo bentonítico que se usa en perforaciones. A continuación, se presentan las muestras que se recomiendan para este fin en la tabla #5.6

Tabla #5.6. Muestras de la cuenca Barlovento Sur recomendadas para elaboración de lodo bentonítico

Muestras
AAMi79
AAMi80

V.2.2.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas

Los minerales expansivos no parecen tener gran presencia en esta cuenca, sin embargo, esto es en gran medida por no contar con ensayos glicolados, por lo que se debe tener en cuenta. De todas formas, es posible destacar la presencia de montmorillonita en las muestras AAMi79 y AAMi80 en la vía que va desde la localidad de El Guapo hasta Cupira, en la misma destacan las muestras AAMi74 y AAMi76 en las cuales si bien no se detectó montmorillonita, el mineral de illita tiene cierto grado de expansión debido a que se trata de capas intercaladas de illita y esmectita. Por asociación de muestras es posible teorizar que las muestras que se encuentran en esta vía posiblemente presenten condiciones similares ya sea por presencia de montmorillonita o por illita/esmectita.

V.3 CUENCA GUARENAS-GUATIRE

Esta cuenca se encuentra circundada por el Esquisto de Las Brisas, Esquisto de Las Mercedes y el Complejo San Julián; mientras que la misma se encuentra colmada de sedimentos de la Formación Guatire y depósitos aluviales transportados por el río Guatire. En cuanto al clima, Zambrano (1970) establece que la zona de la cuenca conocida como Valle de Guatire-Guarenas es de tipo tropical templada con precipitaciones que van desde los 700 a los 1100 mm y humedad de 80%; este mismo autor define las zonas elevadas que circundan la cuenca como pisos montañosos con precipitaciones algo mayores entre los 1000 y 1300 mm anuales pero con humedad similar al de la cuenca; y en las zonas de mayor elevación en el macizo montañoso al norte la humedad puede alcanzar hasta el 85%. Estos datos permiten deducir que la meteorización química actúa de manera intensa en las zonas que circundan la cuenca y fungen de fuente de sedimentos.

V.3.1 Análisis de minerales de arcilla

Esta cuenca a pesar de ser relativamente pequeña presenta tres minerales de arcilla detectados en las dos muestras.

V.3.1.1 Illita

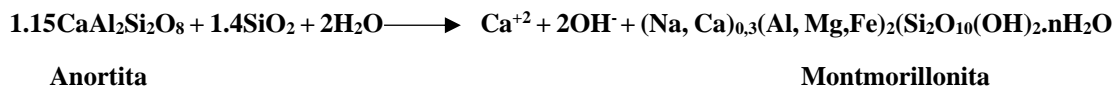
La illita en esta cuenca se encuentra en las dos muestras. El origen de la misma se debe al aporte de sedimentos ricos en minerales con potasio y aluminio tales como feldespato y moscovita que se encuentra en el Esquisto de Las Mercedes alrededor de la cuenca, esto lo corroboran Castro y Rivero (2010) que encuentran conglomerados con fragmentos de roca que resultaron ser esquistos cuarzo - moscovíticos y esquistos cuarzo - feldespáticos en la zona donde se recolectó la muestra AAMi10; también encontraron esquistos cuarzo – calcíticos – grafitosos, y pedazos de gneis, augengneis, granodioritas, cuarcitas y fragmentos de dos centímetros de plagioclasas. En base a esto, es muy posible que la illita derive del proceso de meteorización de los feldespatos potásicos y la moscovita que llegaron a la cuenca como sedimentos o en fragmentos de roca transportados por los drenajes que desembocan en la cuenca al momento de depositar los sedimentos que conforman la Formación Guatire.

V.3.1.2 Caolinita

La caolinita al igual que la illita se forma a partir de minerales ricos en aluminio y potasio, especialmente el feldespato potásico y moscovita que se encuentran en las unidades metamórficas aledañas a la cuenca destacando el Esquisto de Las Mercedes caracterizado por tratarse principalmente de esquisto cuarzo – micáceo – grafitoso según Gonzáles de Juana *et al.* (1980); sin embargo, como se ha mencionado en las secciones anteriores, la caolinita y la illita necesitan condiciones de meteorización diferentes para formarse, ya que la primera requiere de niveles más altos de precipitación y humedad (meteorización química) así como condiciones de desilicatación (Lara, 2014). Por tal motivo, al igual que como ocurre en las demás cuencas la illita y caolinita no se forman de manera simultánea, sino que se está en presencia de dos tipos de sedimentos con grados diferentes de meteorización química.

V.3.1.3 Montmorillonita

Este mineral se puede formar a partir de aluminosilicatos cálcicos destacando la plagioclasa cálcica. Esta se encuentra alrededor de la cuenca en unidades como el Complejo San Julián. Anteriormente se destacó el hecho de que Castro y Rivero (2010) mencionan grandes pedazos de plagioclasa cálcica en la zona donde se recolectó la muestra AAMi10; a continuación, se presenta una reacción esquemática de meteorización de anortita derivando en montmorillonita, extraída de Lara (2014).



V.3.2 Usos de las arcillas

Las muestras de la cuenca Guarenas-Guatire presentan mineralogías similares incluyendo las fracciones de arcilla; por lo tanto, el uso que se recomienda aplica para ambas muestras. Con base a los minerales de arcilla, se determinó que la mejor función que pueden desempeñar estas es en la industria alfarera con la elaboración de ladrillos o afines debido a la presencia de illita y caolinita que por asociación mineralógica y por las unidades que circundan la cuenca se consideran los minerales de arcilla más abundantes en la misma como mencionan Castro y Rivero (2006).

V.3.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas

Las dos muestras de esta cuenca presentaron montmorillonita en los difractogramas; estas se encuentran muy cerca de la vía principal de Guarenas-Guatire, por lo tanto, se debe tener en cuenta la presencia de arcillas expansivas al momento de planificar obras civiles en esta zona.

V.4 CUENCA TUY-CHARALLAVE

Esta cuenca se encuentra rodeada de varias unidades ígneas y metamórficas que aportan sedimentos desde el norte y el sur ya que los drenajes que recorren la cuenca son tributarios del río Tuy; en tal sentido, esta cuenca presenta una fuente muy variada de aportes de sedimentos. En cuanto a las unidades sedimentarias que se encuentran en

la cuenca; la más relevante es la Formación Tuy que abarca prácticamente la totalidad de la cuenca. En el norte también afloran la Formación Siquire y la Formación Pichao; en cuanto a los sedimentos cuaternarios se localizan a los costados de los flujos de agua como el río Guaire y la quebrada Charallave, destacando también los que están en el cauce del río Tuy. Las precipitaciones oscilan entre los 1200 y 700 mm al año según datos de Zambrano (1970) y una humedad que se encuentra entre 70 y 80% por lo que la meteorización química es relevante.

V.4.1 Análisis de minerales de arcilla

La cuenta presenta todos los minerales de arcilla mencionados en capítulos anteriores; esto puede deberse en parte a la variedad de materiales que recibe procedentes de las distintas unidades ígneo-metamórficas que la circundan.

V.4.1.1 Vermiculita

La vermiculita en esta cuenca se encuentra en gran cantidad de muestras distribuidas a lo largo de toda la cuenca. Como se explicó anteriormente, la vermiculita se origina por la meteorización de minerales como biotita; esta se encuentra en las unidades metamórficas y metaígneas alrededor de la cuenca, destacando las Metalavas de Tiara, el Esquisto de Chuspita, la Metatoba del Chino, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de Magdalena, Complejo Conoropa, Metaconglomerado de Charallave y la Fillita de Paracotos. La biotita algunos anfíboles que se encuentran en estas unidades pueden ser los responsables de la presencia de la vermiculita de manera tan abundante en esta cuenca.

V.4.1.2 Illita

El mineral de illita es muy abundante en la cuenca; la ausencia de la misma destaca en el sur de la cuenca en las muestras cercanas a Ocumare del Tuy. La illita que se encuentra en la cuenca es producto de la meteorización de los minerales ricos en aluminio y potasio como los feldespatos y micas de las unidades que se encuentran alrededor de la cuenca; estos se depositan y posteriormente se meteorizan en

condiciones de drenaje pobre con hidrólisis incipiente tal como mencionan Guevara y López (2012).

V.4.1.3 Caolinita

Este mineral se concentra especialmente en los bordes de la cuenca destacando su ausencia en la zona de Cúa y en la vía que conecta Las Brisas del Tuy con Santa Teresa. Como se mencionó anteriormente, la caolinita es un mineral que se origina a partir de la meteorización de aluminosilicatos ricos en potasio al igual que la illita, los cuales se encuentran en las unidades liodémicas que circundan la cuenca, destacando el norte y el oeste con el Esquisto de Las Mercedes y el Esquisto de Chuspita; sin embargo, Guevara y López (2012) mencionan que este mineral se forma en condiciones de mayor hidrólisis, y drenaje eficiente que permitan la pérdida de los elementos alcalinos y alcalinotérreos a los minerales como los feldespatos potásicos; lo que lo diferencia de la illita o minerales del grupo de las esmectitas como la montmorillonita; por tal motivo, es de suponer que las zonas donde fue encontrado este mineral, es decir, en los bordes, especialmente donde se encuentran ríos de mayor caudal como el caso del río Guaire o el río Tuy existe una mezcla de material transportado y autigénico con diferentes grados de meteorización; lo cual va menguando hacia el centro de la cuenca donde existe únicamente minerales formados *in situ* como la illita o la montmorillonita.

V.4.1.4 Clorita

La clorita se concentra en el norte de la cuenca, en la zona de Santa Lucía. Como ya se ha mencionado, la clorita se forma a partir de minerales ricos en hierro, aluminio y magnesio comúnmente asociada a la alteración de la biotita, aunque también se origina a partir de la alteración de piroxenos y anfíboles. Las unidades litológicas que se encuentran al norte de la cuenca y son las más cercanas a las muestras son el Esquisto de Las Mercedes y la Formación Pichao (antes Miembro Pichao como parte de la Formación Tuy), esta última según el Smith (1952) se caracteriza por conglomerados de peñones de rocas metamórficas cementadas por calcita. La clorita que aparece en esta parte de la cuenca muy probablemente sea producto de la meteorización y alteración de minerales presentes en estas rocas que se encuentran al norte de la cuenca.

V.4.1.5 Montmorillonita

La montmorillonita se localiza en la cuenca únicamente a lo largo de la quebrada de Charallave; y al fijarse en los puntos donde se recolectaron las muestras, estas se encuentran en el margen este del curso de agua. Este mineral se origina en ambientes similares a la illita con drenajes pobres (poca meteorización química) donde a partir de minerales con hierro y magnesio los cuales son sustituidos por aluminio creando un exceso de carga y permitiendo la capacidad de retener cationes y moléculas de agua lo que hace que se expanda (Guevara y López, 2012). Estos minerales que se meteorizaron provienen de unidades litológicas al norte de la cuenca como el Esquisto de Chuspita, el Esquisto de Curucujul o el Esquisto de la Magdalena; que son atravesadas por la quebrada de Charallave y los afluentes intermitentes que drenan hacia ella.

V.5.2 Usos de las arcillas

Las muestras de esta cuenca se presentan muy ricas en illita, por lo tanto, el mejor uso que se les puede dar sería en el área de la cerámica y porcelana, aunque también hay zonas donde las muestras presentan caolinita y montmorillonita así que también se consideró recomendar el uso de las mismas para alfarería y como lodo bentonítico.

V.4.2.1 Cerámica

La cerámica según Rodríguez (1986) utiliza las llamadas arcillas blancas, estas, aunque no se han definido con una mineralogía en concreto, tienen como minerales en común la illita y caolinita, en tal sentido, se estableció que veintiún (21) muestras de la cuenca presentan características mineralógicas que favorecen la elaboración de cerámicas y porcelanas; estas se presentan en la tabla #5.7

Tabla #5.7. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para elaboración de cerámicas

Muestras	Muestras	Muestras
AAMi4	AAMi29	AAMi45
AAMi14	AAMi30	AAMi46
AAMi18	AAMi31	AAMi47

Tabla #5.7. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para elaboración de cerámicas.
Continuación

Muestras	Muestras	Muestras
AAMi23	AAMi32	AAMi48
AAMi24	AAMi34	AAMi59
AAMi27	AAMi35	AAMi51
AAMi28	AAMi36	AAMi68

V.4.2.2 Caolín

La caolinita se encuentra presente en varias muestras; por lo que es recomendable realizar estudios que cuantifiquen este mineral en la arcilla los bordes de la cuenca para determinar las concentraciones y el interés comercial que pueda generar. Las muestras recomendables para este fin son las que se presentan en la tabla #5.8.

Tabla #5.8. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para caolín

Muestras	Muestras
AAMi4	AAMi34
AAMi7	AAMi36
AAMi19	AAMi48
AAMi20	AAMi49
AAMi22	AAMi50

V.4.2.3 Lodo bentonítico

El lodo bentonítico necesita como mineral principal a la bentonita que según Scremín (2019) es el término que se les da a las concentraciones explotables comercialmente de montmorillonita sódica; esto es debido a su alta capacidad de absorción y retención de agua. Las muestras que presentan montmorillonita se encuentran a lo largo de la vía que conecta Charallave con Ocumare del Tuy; este lodo se utiliza en las perforaciones para evitar que ocurran derrumbes en los pozos. Scremín (2019) hizo un estudio sobre la muestra AAMi7 para comprobar si serviría como materia prima de lodo bentonítico y concluyó que si bien el contenido mineralógico era el correcto, las proporciones de estos minerales no favorecen la fabricación este material debido a que existe gran cantidad de minerales inertes (no expansivos) que

impiden la absorción de agua requerida; esto es un factor importante que debe tenerse en cuenta con el resto de muestras, ya que se seleccionaron únicamente por la mineralogía sin tomar en cuenta otros factores. Las muestras que se recomiendan para lodo bentonítico son las que aparecen en la tabla #5.9

Tabla #5.9. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para elaboración de lodo bentonítico

Muestras
AAMi8
AAMi19
AAMi20
AAMi21
AAMi22

V.4.2.4 Alfarería

Barreto y Godoy (2018) mencionan que las arcillas que son recomendables para elaborar objetos en alfarería tales como ladrillos deben ser ricos en silicio y aluminio, en tal sentido, se seleccionaron las muestras que presentan caolinita e illita como principales minerales de arcilla como posibles fuentes de material de alfarería; estas muestras se presentan en la tabla #5.10

Tabla #5.10. Muestras de la cuenca Tuy-Charallave recomendadas para uso en alfarería

Muestras
AAMi4
AAMi9
AAMi48
AAMi49
AAMi50

V.4.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas

La montmorillonita en esta cuenca se concentra en la vía que va desde Charallave hasta Ocumare del Tuy, en dicho recorrido Guevara y López (2012) hacen un muestreo para determinar la expansividad de las arcillas en este tramo y es de ese estudio es que se recuperó la muestra AAMi8. Estos autores determinaron que el único lugar donde existe una expansividad considerable es al norte de Ocumare del Tuy

donde se encuentran las muestras AAMi7 y AAMi8, las arcillas del resto de la vía presentan expansividad media-baja.

Guevara y López (2012) hicieron un estudio de arcillas expansivas similar en la vía que va desde el norte de Charallave hasta Santa Teresa y determinaron que el grado de expansión máximo determinado es medio. En el caso de esta sección las muestras AAMi9, AAMi28 y AAMi29 presentan arcillas tipo illita/esmectita por lo que existe algún grado de expansividad en la zona que se encuentra entre estas muestras; sin embargo, el resto del recorrido que corresponde a las muestras AAMi30, AAMi31 y AAMi32 no tienen grado de expansividad y la illita se consideró como pura después de los ensayos.

V.5 METACONGLOMERADO DE CHARALLAVE

El Metaconglomerado de Charallave más que receptor de sedimentos es un generador de los mismo además que se encuentra en una posición elevada en comparación a la cuenca sedimentaria que se encuentra en el este. Las condiciones climáticas son similares a la cuenca Tuy-Charallave según los datos expuestos por Zambrano (1970) sin embargo, al encontrarse en una posición más elevada la meteorización mecánica es más intensa debido a la acción de la gravedad.

V.5.1 Análisis de minerales de arcilla

A pesar de su tamaño, esta unidad cuenta con cuatro de los cinco minerales de arcilla mencionados en los capítulos anteriores; estos se encuentran distribuidos en las cuatro (4) muestras recuperadas en esta unidad.

V.5.1.1 Vermiculita

La vermiculita en el Metaconglomerado de Charallave se encuentra en dos (2) muestras. El origen de este mineral en esta unidad puede deberse a la meteorización de los minerales que conforman el cemento del conglomerado ya que, según Beck (1985), el mismo se compone de cuarzo microcristalino, minerales opacos, micas y clorita; por

lo que la meteorización y alteración de esta última o alguna porción de biotita pudiera ser la responsable de que se generara la vermiculita; aunque también existe la posibilidad de que se trate de clorita que fue confundida debido a que los picos de estos minerales en los difractogramas son parecidos y para diferenciarlos es necesario ensayos especiales como el de cocción a 550 °C; por lo que la vermiculita encontrada podría ser también en parte clorita.

V.5.1.2 Montmorillonita

La montmorillonita se encuentra en dos (2) muestras. El origen de este mineral se considera similar al de la vermiculita de la misma unidad ya que se relaciona a la meteorización de parte del cemento o a los minerales que se encuentran en esquistos y fillitas muy alterados que componen parte de la unidad tal como lo menciona Beck (1985). La montmorillonita tiene la particularidad de que puede expandirse al entrar en contacto con el agua debido a la diferencia de carga que le permite retener estas moléculas (Guevara y López, 2012). También otra posibilidad es que la montmorillonita se generara por la meteorización de sedimentos compuestos por minerales ricos en hierro y magnesio provenientes de lavas y tobas que se encuentran en el Esquisto de La Magdalena como destaca Sánchez (2019).

V.5.1.3 Caolinita

Este mineral se encuentra en las mismas muestras que presentaron montmorillonita. El origen de la caolinita es a partir de la meteorización química y alteración por desilicatación de aluminosilicatos como los feldespatos, especialmente los potásicos. Debido a que las condiciones de formación de la caolinita es muy probable que se generara en condiciones de precipitación y drenaje más relevantes y que por esos mismos mecanismos fueron transportados hasta los puntos donde se recolectaron las muestras. Un candidato posible generar la caolinita es el Esquisto de Magdalena el cual según Sánchez (2019) presenta secuencias terrígenas sin carbonatos con predominancia de minerales como cuarzo y feldespatos.

V.5.1.4 Illita

La illita se encuentra en una sola muestra. Se genera a partir de la meteorización de minerales aluminosilicatos como micas y feldespatos. El origen de la misma puede estar relacionado a la meteorización de las micas que forman parte del cemento del Metaconglomerado de Charallave. Otra posibilidad es que exista una concentración de minerales ricos en aluminio y potasio en la zona donde se recolectó la muestra, eso explicaría porque no se detectó illita en las demás muestras de la unidad.

V.5.2 Usos de las arcillas

Las muestras del Metaconglomerado de Charallave presentan minerales de arcilla variados, aunque destacan la AAMi13 y AAMi25 ya que presentan montmorillonita, por tal motivo se determinó que sería recomendable determinar las proporciones de estos minerales y establecer si la arcilla presente puede clasificarse como bentonita por su contenido de montmorillonita. Esto aplicaría para el resto de minerales ya que si las concentraciones de montmorillonita no son las adecuadas se podría utilizar la arcilla en elaboración de cerámicas o en alfarería dependiendo de su contenido de illita y caolinita.

V.5.3 Consideraciones sobre las arcillas expansivas

En el caso del Metaconglomerado de Charallave, las muestras que presentan no se encuentran en un camino en común. En el caso de la muestra AAMi25 al estar cerca del cauce de la quebrada Cúa se podrían intuir que la montmorillonita fue transportada por el drenaje. En el caso de la muestra AAMi13 que se encuentra en la vía que conecta Cúa con La Magdalena, presenta montmorillonita por lo que sería recomendable realizar más muestreos en esa zona para determinar si existe riesgo al momento de realizar obras civiles.

V.6 MUESTRAS AAMI3, AAMI5 Y AAMI52

La muestra AAMi3 presenta montmorillonita, illita y caolinita; tanto la primera como la segunda necesitan condiciones similares como adecuada cantidad de sílice, aguas superficiales ácidas, poca cantidad de drenajes, es decir, meteorización química moderada, en el caso de la illita presencia de potasio y aluminio como en feldespatos potásicos y micas, mientras que la montmorillonita necesita iones de magnesio, hierro y en menor medida calcio; este tipo de minerales que son el punto de partida de la illita y montmorillonita se encuentran en unidades metamórficas alrededor de la muestra como el Esquisto de Las Mercedes, la Fillita de Paracotos, Esquisto de Chuspita, etc. La caolinita al igual que la illita se puede originar de feldespatos potásicos y micas, pero a diferencia de esta, las condiciones necesarias para su formación son alta meteorización química (drenajes) y desilicatación. La presencia de estos minerales juntos podría indicar una mezcla de sedimentos con diferentes grados de meteorización; aunque tampoco se debe descartar la posibilidad de que los minerales de arcilla llegaron a esta zona a través de drenajes ya que es bien conocida su capacidad de mantenerse en suspensión recorriendo largas distancias.

En el caso de la muestra AAMi5 se ubica cerca del río Taguaza, en ella se detectaron illita, montmorillonita y caolinita. Este río atraviesa unidades ígneo-metamórficas como el Basalto de Las Hermanas o el Granofel de Santa Isabel, aunque también recibe varios afluentes que provienen de unidades como la Metatoba del Chino. Según Lara (2014) estas unidades se caracterizan por presentar litologías como volcano-sedimentarias, esquistos epidóticos – cloríticos – albíticos y cuarzo – feldespáticos, metadiabasas, etc. Esta misma autora menciona que los procesos de meteorización y erosión que afectan unidades aportan sedimentos a los cauces de los drenajes que son los que depositan todo el material a lo largo del cauce del río Taguaza. Ya que el mismo se ubica dentro del Parque Nacional Guatopo el cual se caracteriza por una vegetación muy frondosa de tipo bosque húmedo, se puede hacer una relación entre el nivel de precipitación que debe ser alto generando así un buen desarrollo de los drenajes lo cual se traduce en alta meteorización química que favorece la alteración

de los minerales para formar arcillas, especialmente la caolinita la cual derivaría de feldspatos y micas claras; mientras que la montmorillonita puede ser el resultado de la meteorización de minerales máficos y plagioclasa cálcica.

Por último, la muestras AAMi52 sólo reporta vermiculita como mineral de arcilla; esta pudo haberse originado como resultado de la meteorización de minerales ricos en hierro y magnesio presentes en el Basalto de Las Hermanas que se encuentra en el sitio de recolección de la muestra. Esta unidad según el Carpintero (2019) es rica en piroxenos y anfíboles los cuales pueden ser los que al meteorizarse dan paso a la formación de la vermiculita. También es posible que este mineral se trate de clorita la cual también es relativamente abundante; esta podría estar confundiendo con el pico de la vermiculita y ya que no se cuentan con ensayos de cocción es difícil diferenciarlas.

CAPÍTULO VI. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se realizó una compilación bibliográfica sobre los minerales de arcilla que se encuentran en el estado Miranda. Se revisaron diversos estudios que cuentan con ensayos de difracción de rayos X a muestras de arcilla recolectadas en varias partes del estado y se recuperaron un total de 80 muestras. De estas se contabilizaron 169 difractogramas entre los cuales 80 son de muestra natural total, 60 son de ensayos glicolados y 24 son de ensayo de fracción menor a dos micras; por lo que la información necesaria para llevar a cabo el trabajo fue recolectada con éxito. Es importante destacar que la información encontrada en las diferentes fuentes tiene correspondencia mineralógica entre las muestras. De los diversos análisis realizados se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La illita es el mineral que más se encontró en las muestras de arcilla; esto permite suponer que dicho mineral de arcilla es el más extendido en el estado Miranda.
- La mayoría de los minerales de illita son de tipo illita/esmectita, es decir, intercalaciones de capas de illita con capas de esmectita siendo predominantes las primeras.
- Además de illita, también hay otros minerales de arcilla presentes en el estado Miranda como la vermiculita, montmorillonita, caolinita y clorita; sin embargo, para diferenciar la vermiculita y clorita es necesario contar con un ensayo de cocción a 550 °C.

Las muestras también fueron proyectadas sobre la base topográfica y geológica de todo el estado, esta se recuperó de diversos trabajos de grado y sirvió como base para la elaboración de mapas y figuras; así como el análisis de la relación entre los minerales de arcilla y variables geomorfológicas como la litología y los drenajes; de este se concluyó que:

- Existe una estrecha relación entre la mineralogía de las rocas circundantes a las cuencas sedimentarias y los minerales de arcilla que se encuentran en ellas.

- A su vez, la distribución de estos minerales de arcilla está relacionada a la densidad y desarrollo de los drenajes en el área ya que estos se encargan de transportar los sedimentos a las cuencas.
- La abundancia de minerales de arcilla ricos en aluminio y potasio como la illita se deben a las unidades metamórficas y metasedimentarias que se encuentran en la Serranía Litoral como el Esquisto de Las Mercedes; mientras que los minerales de arcilla con mayor contenido de calcio, hierro y magnesio como la montmorillonita provienen de las rocas metaígneas que se encuentran principalmente en la Serranía del Interior como el Basalto de Las Hermanas o la Metatoba del Chino.
- La presencia de minerales de arcilla neoformados pero de condiciones diferentes como la illita y caolinita, juntas en muestras hace inferir que las arcillas de las cuencas son producto de una mezcla de sedimentos con diferentes grados de meteorización.
- Esta mezcla de sedimentos puede ser producto de la meteorización *in situ* de minerales transportados por los drenajes junto con minerales de arcilla ya formados (específicamente la caolinita); o por la combinación de sedimentos a través de diversos drenajes que desembocan en las cuencas cargados cada uno minerales de arcilla diferentes.

Ya con los minerales de arcilla caracterizados y ubicados se procedió a evaluar una serie de usos que se le pudieran dar a estas muestras en base únicamente a su mineralogía, de esto se pudo concluir que:

- Las muestras en las que se encontraron minerales ricos en aluminio como la illita y caolinita serían de buena utilidad para los trabajos en alfarería como la elaboración de tejas, ladrillos, baldosas, etc; y también en la industria de la cerámica como materia prima.
- La montmorillonita es necesaria para la elaboración de lodo bentonítico de perforación debido a su capacidad de absorción de agua; sin embargo, es

necesario asegurarse que el porcentaje de minerales inertes que la acompañan en las muestras no afecte la capacidad de expansión de la arcilla.

Toda la información fue resumida y colocada en una base de datos utilizando el *software* Microsoft Excel el cual se programó utilizando sus diferentes herramientas para generar una interfaz de tipo *dashboard* de manera que los datos se puedan consultar de forma interactiva además de ordenada; esto a su vez se combinó con herramientas que trae el propio *software* por lo que además se pueden filtrar las búsquedas para optimizar el funcionamiento de la base de datos. La base de datos representa una gran ventaja al momento de realizar investigaciones ya sea de carácter académico o comercial; ya que, al sintetizar la información más importante de las muestras de arcilla en un mismo sitio, se puede utilizar como punto de partida para conocer la mineralogía de las zonas de interés y poder asociar las diversas propiedades físicas y químicas que ello implica.

También se generaron un total de 5 mapas a escala 1:100000 y 98 mapas a escala 1:25000 que poseen tanto la base geológica como la cartográfica del estado Miranda además de la ubicación de los puntos donde se recolectaron las muestras. Los mapas permiten mostrar la distribución de las muestras y con la mineralogía que se describe se puede identificar donde se concentran estos minerales de arcilla en el estado Miranda; cosa también extremadamente útil para futuras investigaciones.

Finalmente se presentan una serie de recomendaciones a tener en cuenta para futuros trabajos relacionados; estas son:

- Recolectar muestras de arcilla cerca de las presentadas en el trabajo a fin de corroborar la información recuperada de las fuentes bibliográficas.
- Realizar ensayos de difracción de rayos X en muestras glicoladas y cocinadas por lo menos a 550 °C para poder diferenciar los minerales vermiculita y clorita que no pudieron distinguirse de manera adecuada en el presente trabajo.
- Elaborar planes de muestreo y estudios más detallados en las cuencas sedimentarias del estado Miranda a fin de perfeccionar la información aportada.

- Evaluar otras propiedades de los minerales de arcilla como límites de Attenbergh y expansividad; así como análisis químicos para determinar el porcentaje de cada mineral permitiendo definir un mejor uso a los basados únicamente en la mineralogía.
- Realizar ensayos de fluorescencia de rayos X a las muestras para así poder cuantificar la cantidad de minerales para determinar si existen depósitos con interés comercial, civil, industrial y/o académico.
- Debido a la necesidad de conocer las reservas de los minerales de arcilla para comprobar si son comercialmente explotables; se recomienda cuantificar y delimitar en campo este material para así determinar la cantidad existente.

BIBLIOGRAFÍA

- Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, 23a edición., [versión 23.4 en línea]. <https://dle.rae.es/base>. Consultado el 15 de diciembre de 2020
- Aguerrevere & Zuloaga. (1937). Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa. Venezuela. Bol. Geol y Min., Caracas, 1(2-4): 3-22.
- Aguerrevere & Zuloaga, (1937). Geological notes on the central part of the Cordillera de la Costa. Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4): 3-22 (ed. en inglés).
- Aguerrevere & Zuloaga. (1938). Nomenclatura de las formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4): 281-284.
- Aguerrevere & Zuloaga. (1938). Nomenclature of the formation of the central part of the Cordillera de la Costa. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4): 257-260 (ed. en inglés).
- Arias, I. (2004). Estudio de minerales de arcilla presentes en muestras de sedimentos superficiales y núcleos de la fachada atlántica venezolana. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela.
- Ayala, Ferrer, Oteo & Salinas. (1984). Mapa previsor de riesgos por expansividad de arcillas en España a escala 1:1000000. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

- Barreto, J. (2010). Caracterización geológica de la cantera Mume ubicada en el municipio Cristobal Rojas de los Valles del Tuy estado Miranda. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, p 24.
- Barreto, Y & Godoy, S (2018). Evaluación geológica de los depósitos de arcilla ubicados en el municipio Cruz Salmerón Acosta, península de Araya, estado Sucre. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela.
- Beck, C. (1980). La nappe ophiolitique de Loma de Hierro, chaîne Caraïbe centrale, Vénézuéla. Soc. Géol. France, 8è. Réunion. Ann. Sc. de la Terre, Marseille.
- Beck, C. (1985). La chaîne Caraïbe au merideien de Caracas: geologie, tectogenese, place dans l'evolution geodynamique Mesozoique-Cenozoique des Caraïbes Meridionales. L'Universite des Sciences et Techniques de Lille, Tesis de doctorado de estado.
- Beck, C. (1986). Geologie de la chaîne Caraïbe su meridien de Caracas (Venezuela). Soc. Geol. de Nord., Villeneuve s'Ascq, Francia, Public.
- Blanco, L. (2011). Estudio hidrogeoquímico de la cuenca del río Caucagua, estado Miranda. Escuela de Química, Departamento de Geoquímica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela.
- Caldevilla, R. (2006). Petrografía y Geoquímica de la Serranía del Interior Central, Cordillera de la Costa. UCV, Escuela de Geología, Trabajo especial de grado.

- Camillo, F. (Sin Fecha). Atlas de Materias Primas de Venezuela. Instituto Universitario Tecnológico (Región Capital) Dr. Federico Rivero Palacios, Departamento de Tecnología de Materiales (Cerámica).
- Campos, V., S. Osuna & V. Vivas. (1980). Geología del borde oriental del frente de montañas de la serranía del Interior, estados Miranda, Guárico y Anzoátegui. Bol. Geol., Minis. Energ. y Min., Caracas, 14(26): 137-196.
- Carpintery, A. (2019). Integración geológica de la región comprendida entre Caruao – Guatopo, estados Vargas, Miranda y Guárico. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela.
- Carriazo, Molina & Moreno. (2004). Caracterización de dos arcillas colombianas por difracción de rayos X y su relación con aspectos de origen y transformación. Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia.
- Castro, D & Rivero, W. (2010). Caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la hacienda El Marqués, Municipio Zamora, Guatire, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- Chantal, M & Herwart, V (2009). Estudio neotectónico de la cuenca Guarenas-Guatire. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- Dana. (1960). Manual de Mineralogía. Editorial Reverté. 2da Edición. Madrid España. 446 – 459.

- Dengo, G., (1951). Geología de la región de Caracas, Bol. Geol. Venezuela, 1(1): 39-116.
- Eberl, D & Srodon, J (1984). Illite, Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 13 (1): 495–544
- Fournier H. (1999). Estudio de los minerales de arcilla en la sección de Agua Blanca - Altagracia de Orituco. Estados Guárico y Miranda. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- García de los Salmones L., F. Urbani y O. Contreras, (1995). Geología de la cuenca del río Tócome, Parque nacional El Avila, Caracas, Venezuela. Bol. Geol. Caracas. (M.E.M., Caracas), Public. Esp. 10, p. 279-286.
- García, G., (1977). Geología del área de Cabo Codera (estado Miranda). UCV, Escuela de Geología, Trabajo especial de grado.
- García, E & Suarez, M. (2003). Las Arcillas: Propiedades Y Usos. Universidad Complutense, Madrid, España.
- Gisbert, J., Ibáñez, S & Moreno, H (2011). Filosilicatos 2:1. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia.
- González Clemente, O. J., M. Bezada Díaz, Z. Del V. Millán Boadas, J. M. Carrera (2014), “Caracterización de las arenas y arcillas minerales de los depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela”, Investigaciones Geográficas, Boletín, núm. 85, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-32, [dx.doi.org/10.14350/rig.35291](https://doi.org/10.14350/rig.35291).

- Gonzáles de Juana, 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.
- Graterol, M. (1972). Petrogénesis de la peridotita de Loma de Hierro, estado Aragua. Mem. VI Conf. Geol. Caribe, Margarita, p. 329-336.
- Guevara, E. & López, C. (2012). Determinación y evaluación de las arcillas expansivas y dispersivas en tres localidades al Norte de Venezuela, Estados Anzoátegui, Falcón y Miranda. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Hendricks, S & Ross, C (1945). Minerals of the montmorillonite group. Their origin and relation to soil and clays. Servicio Geológico de los Estados Unidos
- Hernández, J & Rojas, E. (2002). Estudio tectono-estratigráfico del margen meridional de la cuenca de Barlovento: Implicaciones neotectónicas. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- INVESTI. (1963). Arcillas Industriales de Venezuela No. 3, Caracas, Venezuela.
- 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.

- Lara, R. (2014). Estudio mineralógico de la fracción lodo de los sedimentos de la cuenca del río Tuy, Venezuela. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Lutgens, F & Tarbuck, E (2005). Ciencias de la Tierra. Octava edición. Editorial Pearson Educación S.A., Madrid, España.
- Marquéz, C (2021). Integración geológica de la región comprendida entre Puerto Maya – San Casimiro; estados Aragua, Miranda y Vargas. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Menéndez, V. de V., A. (1965). Geología del área de El Tinaco, centro norte del Estado Cojedes, Venezuela. Bol. Geol., Caracas.
- Menéndez, V. de V., A. (1966). Tectónica de la parte central de las Montañas Occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 8(15): 116-139.
- Navarro, E. (1983). Geología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo de Villa de Cura. Geos, UCV, Caracas, (28): 170-317.
- Orta, M. (2003). Integración geológica de la región de Caracas-Charallave-Santa Teresa del Tuy. Distrito Capital y estado Miranda. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Inédito, 237 p.
- Ostos, M. (1990). Evolución tectónica del margen Sur-Central del caribe basado en datos geoquímicos. Geos, Caracas.
- Patrick, H. B. (1959). Nomenclatura del Pleistoceno en la Cuenca de Cariaco. Bol. Geol., Caracas, 5(10): 91-97.

- Piburn, M. D. (1968). Metamorfismo y estructura del Grupo Villa de Cura, norte de Venezuela. Bol. Geol., 9(18): 183-290.
- Picard, X. (1976). Geología de la cuenca Guarenas-Guatire. Sedimentación continental intracordillerana, Venezuela. II Cong. Latinoamericano de Geología, Caracas, Noviembre 1973, Memoria, Bol. Geol., Caracas.
- Picard, X. y N. Pimentel. (1968). Geología de la cuenca de Santa Lucia-Ocumare del Tuy. Bol. Geol., 10(19): 263-296.
- Rodríguez, S. (1986). Recursos minerales de Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 15(27): 1-228.
- Rodríguez (1991). Minerales y arcillas de los suelos del estado Lara II. Difractometría de Rayos X.
- Salas, J (2021). Estudio para la caracterización geológica de arcillas en el área Metropolitana de Caracas. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- Sánchez, Y (2019). Integración geológica de la región comprendida entre la Guaira, Caracas y Charallave. En los estados Vargas, Miranda y Distrito Capital. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
- Scremin. (2019). Caracterización mineralógica y parámetros geotécnicos de arcillas venezolanas como fuente de lodo bentonítico. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.

- Seiders, V. M. (1965). Geología de Miranda central, Venezuela. Bol. Geol., Caracas.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (Sin Fecha). Difracción de Rayos X. Recuperado el 20 de ENERO de 2021 de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Difraccion-de-rayos-X.html>
- Shagam, R. (1960). Geología de Aragua central Venezuela. III Cong. Geol. Venezuela., Caracas.
- Singer, A. Zambrano, A. Oropeza, J & Tagliaferro, M. (2007). Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25.000. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. Caracas, Venezuela.
- Smith, R. J. (1952). Geología de la región de Los Teques-Cúa, Bol. Geol. Venezuela, 2(6): 333-406.
- Srodon, (1984). Precise identification of illite/smectite interstratification by X-ray powder Diffraction. Clays and clay minerals, 28 (6), 401-411.
- Srodon, (1984). X-ray diffraction of illitic materials. Clays and clay minerals, 17:23-29.
- Urbani, F. (1999). Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Geos, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Urbani, F. y M. Ostos, (1989). El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. Geos, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- Urbani, F., A. Chirinos y M. Marquina, (1991). Geología del área de Guatopo - El Guapo, estados Miranda y Guárico. Parte 2. Formación Las Hermanas y Complejo de Apa. Revista de la Facultad de Ingeniería, UCV, Caracas, 6(1): 5-52.
- Urbani, F. Y Rodríguez, J. (2004). Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa Venezuela. U.C.V., Caracas.
- Urbani, F. (2012). La Cordillera de la Costa de Venezuela: evolución de su conocimiento geológico desde el siglo XVI al XXI. U.C.V., Caracas.
- Wehrmann, M. (1972). Geología de la región de Caracas - Colonia Tovar. Bol. Geol., Caracas.
- Zeballos, Melero, Trujillo, Mejía y Ceroni. (2014) Structural study of Chulucanas clays by X-ray diffraction and Rietveld method. Laboratorio de Cristalografía de Rayos X, Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Zambrano, A. (1970). Estudio fisiográfico regional de la cuenca del Tuy. Bol. Geol., Caracas, 11(21): 3-206.

APÉNDICE. MÉTODOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Método de difracción de rayos X (Grande, 2000)

El método de caracterización por difracción de rayos X sobre arcillas se basa en las investigaciones de Hendricks & Fry (1931) quienes demostraron que las partículas de tamaño arcilla de los suelos están formadas por minerales cristalinos capaces de someterse al ensayo y obtener diagramas de difracción de rayos X permitiendo así, identificar los mismos.

Para este trabajo se cuenta con tres ensayos diferentes, el primero sobre toda la fracción tamaño arcilla (muestra total) el cual se considera como el mínimo necesario para cada muestra, el segundo sobre la misma fracción tamaño arcilla, pero tratada con etilen glicol (glicolado), y el último solamente de los minerales de arcilla, es decir, los filosilicatos (fracción menor a 2 μ). Esto permitió determinar los minerales de arcilla que presenta la muestra.

Para la aplicación de este método para la caracterización de la fracción de partículas tamaño arcilla y posteriormente los minerales de arcilla, se consideró una metodología similar a la empleada por Fournier (1999) y Arias (2004).

Ensayo de muestra total (Fournier, 1999)

Este método permite identificar la mineralogía de la fracción de partículas tamaño arcilla de la muestra, así como los politipos de minerales de arcillas. Se utiliza un equipo de difracción de rayos X como el que se encuentran en el Laboratorio de difracción y fluorescencia de rayos X del Departamento de Geología de la UCV con las siguientes características.

- Difractómetro Philips con las siguientes características:
 - Generador de rayos x PW 3830
 - Goniómetro modelo “step scanning” PW 3830
 - Detector de rayos X PW 1711/90

- Monocromador PW 1752/00
- Tubo de cobalto

Preparación para el ensayo en muestra total (Fournier, 1999)

La preparación de las muestras para el análisis total se hace en forma de montura desorientada, y se procedé de la siguiente manera:

- Se pulveriza la muestra con un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino de tamaño aproximado de 10 μ
- Se coloca un vidrio esmerilado a una placa de difracción por el lado de incidencia de los rayos x, el vidrio se ajusta con cinta plástica transparente y se voltea el conjunto vidrio esmerilado – placa
- Se agrega el polvo previamente pulverizado a la placa
- Se coloca un vidrio y se pega con cinta plástica para que tape la parte donde se encuentra el polvo para que este no se salga
- Se retira el vidrio esmerilado cuidadosamente de manera que la cara de la incidencia de los rayos X desorientados quede libre

Ensayo en fracción menor a 2 μ (Fournier, 1999)

Este ensayo consiste en estudiar únicamente la fracción de filosilicatos de los cuales deberán ser orientados según sus planos basales, esto permite clasificar los minerales de arcillas que presenta la muestra. El equipo de difracción de rayos X que se usa es similar al de la muestra total con la diferencia de que en este se utiliza un tubo de cobre en vez de cobalto como se observa a continuación.

- Difractómetro Philips con las siguientes características:
 - Generador de rayos x PW 3830
 - Goniómetro modelo “step scanning” PW 3830
 - Detector de rayos X PW 1711/90
 - Monocromador PW 1752/00
 - Tubo de cobre

Preparación para el ensayo en fracción menor a 2 μ (Fournier, 1999)

En esta parte se eliminan de la muestra todas las partículas tamaño arcilla que no sean filosilicatos, además que deben orientarse estos últimos según su plano basal.

- Se debe utilizar una muestra que no haya sido afectada química ni físicamente.
- Se disgrega la muestra con un mortero sin molerla, esto se debe realizar por periodos de tiempo limitado (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.
- La muestra se deja en reposo en baño de María por 12 horas a 80 °C.
- Se traslada la muestra a un tubo de centrifuga y se añade agua desmineralizada para equilibrar los pesos.
- Se centrifuga a 2000 rpm por 15 minutos y se vierte el líquido sobrante.
- Se elimina la materia orgánica con peróxido de hidrogeno concentrado al 35%, se añade entre 5 y 10 ml a una temperatura de 60 a 70 °C y se debe esperar hasta que la reacción (burbujeo) termine.
- Se traslada la muestra a un tubo de centrifuga y se añade agua desmineralizada para equilibrar los pesos. Se centrifuga a 2000 rpm por 15 minutos y se vierte el líquido sobrante.
- Se agrega 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 minutos el líquido contenido en el tubo.
- La muestra se deja en reposo en baño de María a 80 °C.
- Se agrega 1 gr de ditionito de sodio a la muestra e inmediatamente después 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 2000 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 sección 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
- Una vez terminada la filtración, se procede a sacar la membrana la cual contiene la fracción menor a 2 μ retenida. Esta se coloca en un portamuestras de vidrio y se deja secar.

Análisis de difracción de rayos X (Fournier, 1999)

Ya con las muestras preparadas, se procede a realizar las corridas correspondientes en el difractómetro. Para esto se debe calibrar con ciertos parámetros.

Parámetros para las corridas del difractómetro

Parámetros para el difractómetro. Modificado de Fournier, 1999

Parámetros	Ensayo muestra total	Ensayo en fracción menor a 2 μ
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

Tratamiento con etilen glicol (EG)

Para verificar si existen arcillas de naturaleza expansiva en alguna muestra, se les hace un tratamiento con etilen glicol

- Se coloca dentro de una cacerola de cierre hermético 200 ml de EG junto con las muestras
- Se deja la cacerola en un horno a 60 °C durante 12 horas
- Se retiran las muestras de la cacerola y se identifican nuevamente si es necesario

ANEXOS

