



**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 ARAGUA**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO POR LA BR. PADRÓN P., MERLYN Y.**

**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 ARAGUA**

**TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones**

**PROYECTO DE TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA  
ILUSTRE UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA PARA OPTAR AL TÍTULO  
DE INGENIERO GEÓLOGO POR LA BR. PADRÓN P., MERLYN Y.**

**2021**

## DEDICATORIA

*A mis padres*

*A mi mami, **Belkis Yaneth Pérez León** y a la memoria de mi papi, **Julio Cesar Padrón***

*quienes con amor y disciplina me fueron forjando*

*hasta formar a la persona que soy en la actualidad*

*siempre motivándome para cumplir mis sueños*

*Este logro es de ustedes.*

*A **mi hermana**, por apoyarme y acompañarme en el camino.*

*A **mi amor**, por ser mi cómplice en todo y mi mejor amigo en la vida*

*Gracias por todo el amor, el apoyo y la paciencia.*

*Los amo.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme tener vida y salud para culminar esta etapa de mi carrera.

Al Big Bang, cuya explosión hace 13 700 millones de años hizo posible que todos estuviésemos aquí en este momento

A mis padres, por todo su amor, su entrega, su ejemplo y por darme las fuerzas en todo momento para seguir adelante.

A mi hermana, por ser mi amiga y compañera hasta en los momentos más difíciles de la vida.

A mi familia por siempre confiar en mí.

A la Universidad, por darme la oportunidad de convertirme en profesional, en la carrera que tanto me apasiona.

A todos mis amigos, que me han acompañado en este camino con momentos inciertos, divertidos, en algunos momentos difíciles y otros tantos muy felices.

A Kayem, por la amistad, complicidad, lealtad y amor, entre todos nosotros; sin duda alguna compartimos momentos inolvidables.

A mi tutor por ser mi amigo y guía en el desarrollo de este trabajo.

Y a todos mis profesores, por sus enseñanzas, por el apoyo, solidaridad y entrega, no solo en el ámbito académico sino también en lo personal.

**¡Gracias Totales!**

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 la Bachiller Padrón Pérez Merlyn Yuliana, titulado:

### CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO

#### ARAGUA

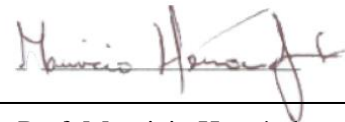
Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.



---

Prof. Ricardo Alezones


Jurado



---

Prof. Mauricio Hernández

Jurado



---

Prof. Lenin González

Jurado

Padrón P., Merlyn Y.

## **CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO ARAGUA**

**Tutor Académico:** Prof. Ricardo Alezones. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2021. 128 p.

**Palabras clave:** Arcillas, difracción de rayos X, formaciones Roblecito y Quebradón, cuenca sedimentaria Guárico, cuenca sedimentaria Lago de Valencia, Aragua.

**Resumen:** El principal objetivo del trabajo consistió en la caracterización geológica del material de naturaleza arcillosa que se encuentra superficialmente en el estado Aragua, por medio de la recopilación bibliográfica y por el aporte de información del instituto INVESTI, permitiendo analizar un total de treinta y cinco (35) muestras con sus respectivas ubicaciones y difractogramas, de ensayos de muestra natural, glicolados y de fracción menor a dos micras, logrando identificar y caracterizar mineralógicamente las muestras compiladas y recolectadas en la zona de estudio.

Al agrupar las muestras en los puntos de recolección se pudo interpretar que las mismas se concentraban significativamente en dos (2) cuencas sedimentarias, denominadas "CUENCA DE GUÁRICO" al sur y "CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA" en la zona norcentral del estado; a partir de la digitalización de los difractogramas se procedió a comparar la lectura de los picos de los mismos con los picos estandarizados de los filosilicatos, permitiendo identificar cinco especies de minerales de arcilla, los cuales son illita, caolinita, vermiculita, montmorillonita y clorita. Por medio de la composición de estas especies minerales se halla una relación con las diversas unidades litológicas circundantes a las zonas de estudio, definiendo que las especies minerales de arcilla junto con los cuerpos litológicos presentes ayudan a comprender la génesis de cada mineral de arcilla que, mediante la meteorización y transporte, genera el depósito de material sedimentario tamaño arcilla, en las respectivas cuencas antes mencionadas.

A partir de estos análisis se interpreta que existe un dominio importante en cuanto a frecuencia de minerales relacionados con la illita y la caolinita; por medio del

índice de Srodon se determinó que el tipo de illita dominante es illita intercalada con láminas de esmectita. La presencia de este tipo de illita alertó sobre la expansividad de las arcillas. Esta última característica fue evaluada en cada especie mineral de arcilla, particularmente donde había presencia de montmorillonita y vermiculita que muestran una significativa tendencia a la expansividad.

En función de la mineralogía identificada se establecieron una serie de recomendaciones de usos industriales para las arcillas ubicadas en las áreas de estudio; en el caso de la illita y caolinita se sugiere que por sus características se utilice en la industria alfarera, como materia prima para la cerámica y para el caolín donde exista abundancia de caolinita; la montmorillonita se recomienda mejorar su caracterización y determinación en la zona para un uso potencial como materia prima del lodo bentonítico.

Finalmente, los resultados son ilustrados en una serie de mapas a escala 1:100000 y 1:25000 con bases topográficas y geológicas del estado Aragua; a su vez se desarrolló una base de datos en el *software* Microsoft© Excel en forma de tablero digital o *dashboard* lo que permite interactividad, practicidad y dinamismo en las futuras consultas.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
<b>I.1- GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
<b>I.2- UBICACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>I.3- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>I.4- OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>I.5- OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>I.6- JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>I.7- ALCANCES .....</b>	<b>5</b>
<b>I.8- ANTECEDENTES.....</b>	<b>5</b>
MARCO METODOLÓGICO .....	8
<b>II.1- ETAPA DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA, CARTOGRÁFICA Y ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>II.2- ETAPA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS .....</b>	<b>9</b>
II.2.1.- MÉTODO DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	9
II.2.2.- ENSAYO DE MUESTRA TOTAL.....	10
II.2.3.- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO EN MUESTRA TOTAL.....	10
II.2.4.- ENSAYO EN FRACCIÓN MENOR A 2 M .....	11
II.2.5.- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO EN FRACCIÓN MENOR A 2 M .....	11
II.2.6.- ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	13
II.2.6.1.- Parámetros para las corridas del difractómetro.....	13
II.2.7.- TRATAMIENTO CON ETHILEN GLICOL (EG) .....	13
II.2.8.- OBTENCIÓN DE RESULTADOS .....	14
II.2.8.1.- Índice de Srodon o expansibilidad. SRODON (1984) .....	14
<b>II.3- ETAPA DE OFICINA Y ELABORACIÓN DE MAPAS.....</b>	<b>14</b>
MARCO TEÓRICO .....	16
<b>III.1.- BASES CONCEPTUALES .....</b>	<b>16</b>

III.1.1.-ARCILLAS.....	16
III.1.2.- FILOSILICATOS.....	17
III.1.3.- PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS.....	18
III.1.4.- ARCILLAS INDUSTRIALES .....	19
III.1.5.- USOS DE LAS ARCILLAS INDUSTRIALES.....	19
III.1.6.- RAYOS X .....	20
III.1.7.-DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	20
III.1.8.- BASE DE DATOS .....	21
<b>III.2.- MARCO GEOLÓGICO .....</b>	<b>21</b>
III.2.1.- GENERALIDADES .....	21
<b>Serranía del Litoral.....</b>	<b>23</b>
<b>Serranía del Interior .....</b>	<b>23</b>
III.2.2- UNIDADES AFLORANTES.....	24
III.2.2.1.- Faja Costera .....	24
III.2.2.2.- Faja Ávila.....	26
III.2.2.3.- Faja Caracas .....	26
III.2.2.4.- Faja Caucagua- El Tinaco.....	27
III.2.2.5.- Faja de Loma de Hierro.....	28
III.2.2.6.- Faja Villa de Cura .....	28
III.2.2.7.- Faja Piemontina .....	29
III.2.3.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	29
III.2.4.- GEOLOGÍA CUATERNARIA.....	31
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>33</b>
<b>IV.1- GENERALIDADES .....</b>	<b>33</b>
IV.1.1.- CUENCA DE GUÁRICO .....	38
IV.1.2.-CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.....	39
<b>IV.2- DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X .....</b>	<b>41</b>
IV.2.1.- MUESTRAS DE LA CUENCA DE GUÁRICO .....	42

IV.2.1.1- Illita .....	43
IV.2.1.2.- Caolinita .....	45
IV.2.1.3.- Vermiculita .....	48
IV.2.1.4.- Clorita .....	50
<b>IV.2.2.- MUESTRAS DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.....</b>	<b>52</b>
I.V.2.2.1.- Illita en la sección “La Victoria” .....	55
I.V.2.2.2.-Caolinita en la sección “La Victoria” .....	55
I.V.2.2.3.- Vermiculita en la sección “La Victoria” .....	55
I.V.2.2.4.- Montmorillonita en la sección “La Victoria” .....	56
I.V.2.2.5.- Illita en la sección “Lago de Valencia” .....	57
I.V.2.2.6.- Caolinita en la sección “Lago de Valencia” .....	58
I.V.2.2.7.- Vermiculita en la sección “Lago de Valencia” .....	58
I.V.2.2.8.- Montmorillonita en la sección “Lago de Valencia” .....	58
I.V.2.2.9.- Illita en la sección “Embalse de Taiguaiguay” .....	60
I.V.2.2.10.- Caolinita en la sección “Embalse de Taiguaiguay” .....	60
I.V.2.2.11.- Vermiculita en la sección “Embalse de Taiguaiguay” .....	61
<b>I.V.2.3. MUESTRAS AAAR3 Y AAAR30 DE LOMA DE NÍQUEL.....</b>	<b>62</b>
<b>IV.3- ÍNDICE DE SRODON .....</b>	<b>64</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>67</b>
<b>V.1- GENERALIDADES.....</b>	<b>67</b>
<b>V.2- ORIGEN DE LOS MINERALES DE ARCILLA.....</b>	<b>67</b>
V.2.1.- ORIGEN DE LA ILLITA .....	68
V.2.2.- ORIGEN DE LA CAOLINITA.....	69
V.2.3.- ORIGEN DE LA VERMICULITA .....	69
V.2.4.- ORIGEN DE LA MONTMORILLONITA.....	70
V.2.5.- ORIGEN DE LA CLORITA .....	70
<b>V.3.- CUENCA DE GUÁRICO .....</b>	<b>71</b>
<b>V.3.1.- ANÁLISIS DE MINERALES DE ARCILLA EN LA CUENCA DE GUÁRICO</b>	
V.3.1.1.- Illita .....	72

V.3.1.2.- Caolinita.....	72
V.3.1.3.- Vermiculita .....	73
V.3.1.4.- Clorita .....	73
V.3.2.- USOS DE LAS ARCILLAS.....	74
V.3.2.1.- Alfarería .....	74
V.3.2.2.- Cerámicas .....	74
V.3.2.3.- Caolín .....	75
<b>V.4.- CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.....</b>	<b>75</b>
V.4.1.- LAGO DE VALENCIA.....	76
V.4.1.1- Análisis de minerales de arcilla en la sección de la cuenca “Lago de Valencia”	
V.4.2.- LA VICTORIA .....	77
V.4.2.1- Análisis de minerales de arcilla en la sección de la cuenca “La Victoria” .....	78
V.4.3.- EMBALSE DE TAIGUAIGUAY .....	79
V.4.3.1- Análisis de minerales de arcilla en la sección de la cuenca “Embalse de Taiguaiquay” .....	80
V.4.4.- USOS DE LAS ARCILLAS.....	81
V.4.4.1.- Alfarería .....	81
V.4.4.2.- Cerámicas .....	82
V.4.4.3.- Caolín .....	82
V.4.4.3.- Lodo Bentonítico .....	83
V.4.5.- CONSIDERACIONES SOBRE LAS ARCILLAS EXPANSIVAS .....	83
<b>V.5.- MUESTRAS AAAr3 Y AAAr30 .....</b>	<b>84</b>
SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXOS .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Mapa de ubicación del estado Aragua. Extraído de <i>Google Earth</i> (2020) .....	2
Figura 2.1.- Esquema de la metodología. ....	8
Figura 3.1.- Gráfico del origen y formación de los suelos.....	17
Figura 3.2.- Mapa geológico simplificado de la zona central de la Cordillera de la Costa. Tomado de URBANI (2015). ....	24
Figura 4.1.- Difractograma de la muestra INV 15 Natural.....	34
Figura 4.2.- Ficha de la muestra INV 15 Natural .....	35
Figura 4.3.- Mapa esquemático del estado Aragua con las muestras de arcilla .....	37
Figura 4.4.- Cuencas sedimentarias del estado Aragua .....	38
Figura 4.5.- División de la cuenca del Lago de Valencia según su fuente de aporte.....	40
Figura 4.6.- Gráfico de porcentaje de los minerales de arcillas presentes en la cuenca de Guárico.....	43
Figura 4.7.- Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla illita .....	44
Figura 4.8.- Difractograma de la muestra AAAR21.....	45
Figura 4.9.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla caolinita.....	46
Figura 4.10.- Mapa Geológico con la ubicación de la muestra AAAR33.....	47
Figura 4.11.- Difractograma de la muestra AAAR20. ....	48
Figura 4.12.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla vermiculita.....	49
Figura 4.13.- Difractograma de la muestra AAAR31 .....	50
Figura 4.14.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla clorita.....	51

Figura 4.15.- Difractograma de la muestra AAAr31 .....	52
Figura 4.16.- Gráfico de porcentaje de los minerales de arcillas presentes en la cuenca del Lago de Valencia.....	54
Figura 4.17.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de todas las muestras en la cuenca.....	54
Figura 4.18 Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla illita, caolinita, vermiculita y montmorillonita.....	56
Figura 4.19.- Difractograma de la muestra AAAr11 .....	57
Figura 4.21.- Diagrama de la muestra AAAr14.....	60
Figura 4.24.- Mapa Geológico con ubicación de las muestras. ....	63
Figura 4.25.- Difractograma de la muestra AAAr3.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Parámetros para el difractómetro. Modificado de FOURNIER (1999).....	13
Tabla 3.1.- Clasificación de los filosilicatos. Modificado de GARCÍA & SUAREZ (2003) .....	18
Tabla 3.2.-Unidades presentes en el área de estudio. ....	23
Información tomada de URBANI (2004).....	23
TABLA 4.1: Trabajo bibliográfico portador de información de las muestras de arcillas.	33
Tabla 4.2: Muestras del estado Aragua recolectadas por INVESTI.....	34
TABLA 4.3: Nomenclaturas de las muestras .....	36
TABLA 4.4: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA CUENCA DE GUÁRICO .....	39
TABLA 4.5: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.....	40
TABLA 4.6: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA CUENCA DE GUÁRICO CON SU RESPECTIVA MINERALOGÍA .....	42
TABLA 4.7: Muestras con la presencia de illita en la cuenca de Guárico.....	43
TABLA 4.8: Muestras con presencia de illita ubicadas en sus respectivas zonas.....	44
TABLA 4.9: Muestras con la presencia de caolinita en la cuenca de Guárico .....	45
TABLA 4.10: Muestras con presencia de caolinita ubicadas en sus respectivas zonas....	46
TABLA 4.11: Muestras con la presencia de vermiculita en la cuenca de Guárico .....	48
TABLA 4.12: Muestras con presencia de vermiculita ubicadas en sus respectivas zonas	49
TABLA 4.13: Muestras con la presencia de clorita en la cuenca de Guárico.....	50
TABLA 4.15: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA SECCIÓN LA VICTORIA EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.....	53
TABLA 4.16: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA SECCIÓN LAGO DE VALENCIA EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.....	53
TABLA 4.17: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA SECCIÓN DEL EMBALSE DE TAGUAIGUAY EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA.....	53

TABLA 4.18: Muestras con la presencia de illita en la sección “La Victoria” .....	55
TABLA 4.19: Muestras con la presencia de caolinita en la sección “La Victoria” .....	55
TABLA 4.20: Muestras con la presencia de vermiculita en la sección “La Victoria” .....	55
TABLA 4.21: Muestras con la presencia de montmorillonita en la sección “La Victoria”	56
TABLA 4.22: Muestras con la presencia de illita en la sección “Lago de Valencia” .....	57
TABLA 4.23: Muestras con la presencia de caolinita en la sección “Lago de Valencia” ...	58
TABLA 4.24: Muestras con la presencia de vermiculita en la sección “Lago de Valencia”	58
TABLA 4.25: Muestras con la presencia de montmorillonita en la sección “Lago de Valencia” .....	58
TABLA 4.26: Muestras con la presencia de illita en la sección “Embalse de Taiguaiguay”	60
TABLA 4.27: Muestras con la presencia de caolinita en la sección “Embalse de Taiguaiguay” .....	60
TABLA 4.28: Muestras con la presencia de vermiculita en la sección “Embalse de Taiguaiguay” .....	61
TABLA 4.29: MUESTRAS LOCALIZADAS EN ZONAS CERCANAS A LOMA DE HIERRO ....	63
TABLA 4.30: EXPANSIVIDAD Y PRESENCIA DE ESMECTITA EN ILLITA .....	65
TABLA 4.31: Continuación de la información de expansividad y presencia de esmectita en illita .....	66
TABLA 5.1: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca de Guárico recomendadas para Alfarería.....	74
TABLA 5.2: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca de Guárico recomendadas para la fabricación de cerámicas .....	75
TABLA 5.3: Muestras con la presencia de caolinita en la cuenca de Guárico .....	75
Tabla 5.4: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca “Lago de Valencia” recomendadas para el uso de Alfarería.....	81
Tabla 5.5: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca “Lago de Valencia” recomendadas para el uso de Cerámicas.....	82

Tabla 5.6: Muestras con la presencia de caolinita en la cuenca “Lago de Valencia” recomendadas para Caolín.....	82
Tabla 5.7: Muestras con la presencia de montmorillonita en la cuenca “Lago de Valencia” recomendadas para Lodo Bentónico.....	83
TABLA 5.8: Resumen de los usos de las muestras con su respectiva ubicación .....	85

# CAPÍTULO I

---

## INTRODUCCIÓN

### I.1- GENERALIDADES

En el presente trabajo se realizó una recopilación y organización de toda la información correspondiente a los cuerpos de arcillas ubicados en las zonas pertenecientes al estado Aragua, generando un único tomo, el cual abarca toda la información correspondiente a la ubicación de los principales cuerpos de arcilla del estado y las características mineralógicas de las mismas, ya que no existe previamente ningún trabajo que postule esta finalidad.

La poca información existente se encuentra dispersa y ciertas zonas no han sido estudiadas por tal motivo se realizó dicha investigación, para caracterizar los cuerpos arcillosos mediante la difracción de rayos X y de esta manera realizar un estudio más profundo el cual permita evitar la planificación de construcciones de obras civiles en suelos perjudiciales por la presencia de materiales expansivos o para el desarrollo industrial en el país.

### I.2- UBICACIÓN

La zona de estudio comprende todo el territorio perteneciente al estado Aragua que es un 0,76% del territorio nacional y abarca una superficie de 7.014 km<sup>2</sup>, se encuentra situado en la región centro-norte de Venezuela, siendo sus límites el mar Caribe por el norte, el estado Guárico por el sur, los estados Vargas, Miranda y Guárico por el este y Carabobo y Guárico por el oeste (ver figura 1.1).



### I.3- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estado Aragua se encuentra caracterizado por presentar en su topografía tanto elevaciones (como la serranía del Litoral y del Interior), formadas por rocas metamórficas, meta- sedimentarias, metavolcánicas y meta-ígneas y también depresiones (llanos y valles), de material menos competente, como la zona hacia el sur del estado ( área de Camatagua) donde afloran rocas sedimentarias pertenecientes al *Flysch* de Guárico; esta variación de relieve en conjunto con el clima característico de

una zona tropical propicia que la zona de estudio se encuentre dominada por diversos agentes de meteorización y erosión permitiendo una continua producción de nuevo material sedimentario tamaño arcilla, el cual será transportado y depositado generando zonas cubiertas por dicho material.

La información correspondiente a los cuerpos arcillosos se encuentra dispersa y/o poco accesible por lo que el tener a disposición la información detallada con la precisión correspondiente de donde se ubican estos cuerpos arcillosos en el estado Aragua es de gran importancia ya que permite solventar cualquier adversidad que se pudiera presentar en la construcción de obras civiles o dependiendo de su naturaleza, darle la utilidad correspondiente en el área económica e industrial.

Existen trabajos previos donde se estudia la caracterización de los cuerpos de arcillas mencionados en el estado Aragua, sin embargo estas investigaciones se encuentran aisladas y con distintos enfoques, ya que no se ha realizado una agrupación de toda la información referente a los depósitos arcillosos, lo que no permite un óptimo aporte de dicha información.

Al agrupar y organizar la información se logra generar un compendio de las ubicaciones de los cuerpos de arcillas que se encuentran dispersos en la información bibliográfica recopilada y posibilita un solo trabajo en el cual se acceda a consultas rápidas y eficaces para las futuras investigaciones o para el desarrollo del país.

#### **I.4- OBJETIVO GENERAL**

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

#### **I.5- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una recopilación bibliográfica y de la cartografía existente de los diferentes trabajos académicos, artículos científicos y estudios sobre la mineralogía de los cuerpos arcillosos localizados en la zona de estudio.

- Caracterizar mediante difracción de rayos X la mineralogía presente en las muestras recolectadas ya sea a través de empresas privadas o instituciones públicas de las áreas que no posean información sobre la mineralogía.
- Elaborar una base de datos digital donde se refleje la ubicación, referencias bibliográficas, características, mineralogía y utilidades de las arcillas caracterizadas.
- Realizar un mapa geológico digital a escala 1:100.000 que permita representar los cuerpos arcillosos encontrados en el estado Aragua; así como una serie de mapas, también digitales, pero más detallados a escala 1:25.000 en las ubicaciones donde sea requerido.

## **I.6- JUSTIFICACIÓN**

Venezuela es un país rico en materias primas, sin embargo la industria petrolera siempre ha opacado a la industria minera, siendo el motivo por el cual no se ha tenido el incentivo para la investigación de la localización de muchos de los yacimientos que se ubican en el territorio nacional, sobre todo de los yacimientos no metálicos, este es el caso de las arcillas, las cuales son relevantes para diversos sectores, como por ejemplo para el industrial bien sea para la fabricación de objetos, como ladrillos, cerámicas, etc.; como también para el sector minero, en el aprovechamiento racional de los yacimientos para plantear proyectos responsables de extracción de los diversos elementos de interés; a su vez las arcillas son importantes en el aspecto de obras civiles para determinar el tipo de construcción y para el desarrollo del diseño de fundaciones.

Dadas las características topográficas, climáticas y litológicas del norte de Venezuela permite poder interpretar que existen varios yacimientos de cuerpos arcillosos esparcidos por toda esta zona que podrían ser muy útiles para impulsar futuras empresas y proyectos industriales e incluso proyectos urbanísticos.

Por tales motivos es pertinente la realización de una compilación y organización, generando un solo volumen con de toda la información correspondiente a los cuerpos arcillosos localizados en el estado Aragua.

A su vez, este trabajo forma parte de un proyecto más ambicioso, conocido como “Atlas de depósitos de arcilla en Venezuela” que se lleva a cabo en el Departamento de Geología de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la universidad Central de Venezuela y que tiene como objetivo representar la caracterización y generación de una base de datos bibliográfica y cartográfica de los cuerpos de arcillas ubicadas en la superficie de todo el territorio nacional.

### **I.7- ALCANCES**

El principal propósito de la investigación es la obtención de un mapa geológico en el que se representen la disposición de los diferentes cuerpos arcillosos localizados en el estado Aragua generado a partir de una base de datos en la cual se aprecian las características mineralógicas y de esta manera fomentar el desarrollo económico del país, ya que conociendo el uso específico del tipo de arcilla se puede realizar un plan óptimo para la extracción y la finalidad de la misma, o por otro lado, el aprovechamiento de la información para el área de la construcción de edificios o vialidades.

### **I.8- ANTECEDENTES**

A continuación, se presenta en orden cronológico, un resumen de los principales estudios geológicos desarrollados:

- INVESTÍ (1963): realiza el primer trabajo relacionado a los cuerpos de arcillas de uso industrial en el territorio nacional, para el cual se recolectaron muestras en diversas zonas del país para determinar mediante su mineralogía el uso y la calidad de las mismas. Finalmente se cartografiaron los datos de los yacimientos en un mapa geológico.

- ARIAS (2004): su investigación se basó en el estudio de minerales de arcilla presentes en muestras de sedimentos superficiales de la fachada atlántica de Venezuela, para la cual se recolectaron 95 muestras en donde se realizó una identificación mineralógica mediante difracción de rayos X (DRX) y se determinó la mineralogía de la fracción <2 micras de 53 muestras. La fracción más fina se separó por decantación y centrifugación según las recomendaciones de MOORE & REYNOLDS (1989) y FOURNIER (1999). Los resultados de los análisis mineralógicos muestran la presencia de cuarzo, calcita, arcillas, micas (traza) y feldespatos (traza), en muestra total, mientras que en la fracción <2 micras se identificó: illita, caolinita, clorita y esmectitas.
- HERNÁNDEZ (2006): el estudio enmarcado en la zona sur del estado Aragua en las proximidades del Lago de Valencia identificó por DRX la composición mineralógica de esmectita (48%), illita (30%) y caolinita (22%). La esmectita es señalada como montmorillonita sódica la cual es la arcilla de mayor capacidad expansiva, por lo que podría colapsar si es saturado de agua.
- DÍAZ (2014): su trabajo se encargó de estudiar la cobertura sedimentaria mediante petrografía en los estados Carabobo, Guárico y Aragua, haciendo énfasis en la cartografía por lo que fue necesaria la recopilación de trabajos geológicos y de cartografía previos, además de un trabajo de campo propio; posteriormente se realizó un análisis de las muestras recolectadas, para con ello generar 17 mapas geológicos a escala 1:25.000 y un mapa regional a escala 1:100.000, siguiendo el cuadrículado del Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar (IGVSB).
- MAMBIE (2017): la investigación se centró en realizar la cartografía geológica a escala 1:25.000 La zona de estudio, que abarca la región central de la Cordillera de la Costa, entre los poblados Ocumare de la Costa, Maracay y Valencia para lo cual se integró la información tanto geológica como topográfica, y generar los mapas digitales con su georreferenciación, utilizando el *software* ArcGIS ©.
- SCREMIN (2019): su estudio trata sobre caracterizar el comportamiento de las arcillas expansivas ubicadas en Ocumare del Tuy, estado Miranda, con la finalidad de identificar la presencia de montmorillonitas en la zona y evaluar la posibilidad de que las arcillas 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%. Finalmente se concluyó que 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 presentes.

# CAPÍTULO II

## MARCO METODOLÓGICO

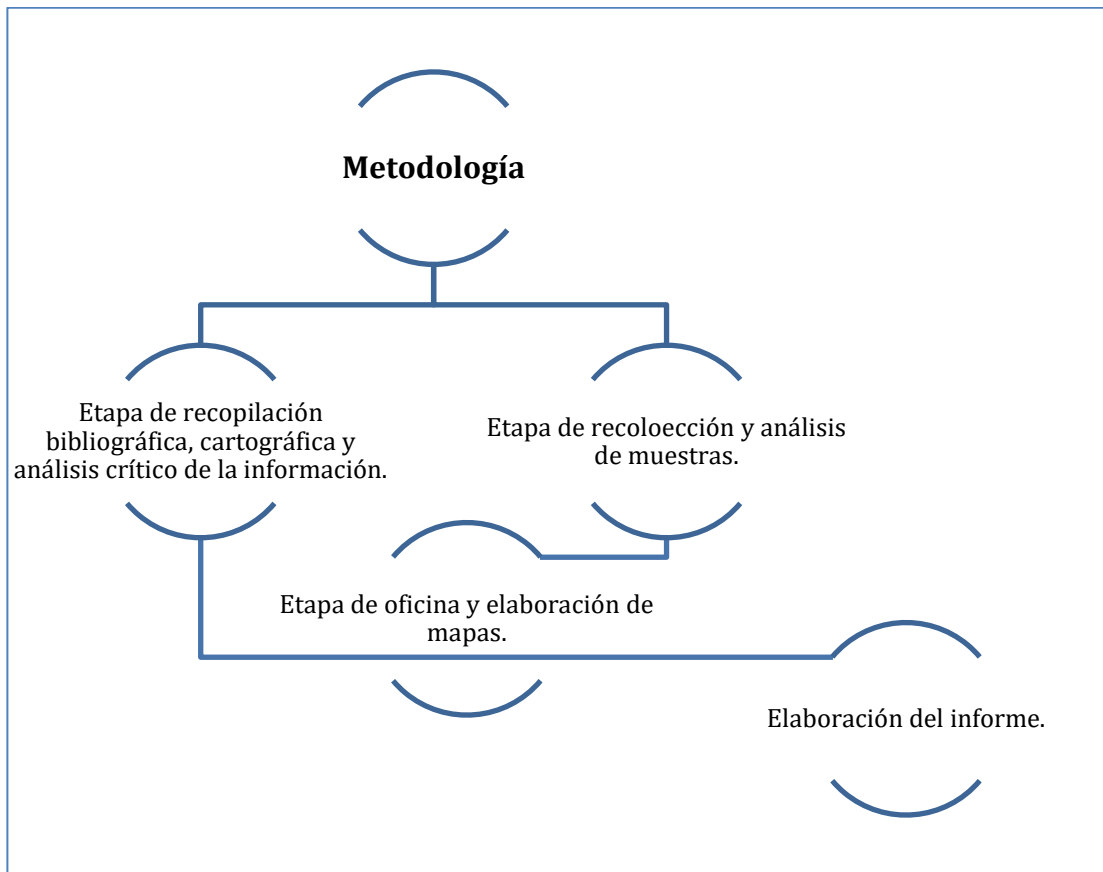


Figura 2.1.- Esquema de la metodología.

### II.1- ETAPA DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA, CARTOGRÁFICA Y ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACIÓN

El objetivo de esta primera etapa de la investigación consiste en la compilación de los diferentes trabajos de grados, artículos científicos, académicos o técnicos con información pertinente a la ubicación, caracterización, identificación y mineralogía de los cuerpos arcillosos en el estado Aragua, la cual posteriormente, se organizó y clasificó bajo un criterio estricto de selección de datos.

A su vez se realizó un compendio con la información cartográfica existente, tanto topográfica como geológica, local y regional.

## II.2- ETAPA DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Al establecer las zonas de interés de los cuerpos de arcillas en el estado Aragua, se procedió a comunicar con las diversas instituciones y/o empresas que tuvieran acceso a las muestras; por lo que se tomaron en cuenta los siguientes criterios o consideraciones de factores fundamentales para la óptima calidad de las muestras a analizar:

- **Calidad:** Las muestras adquiridas deben tener poca o nula meteorización para evitar la alteración de los minerales presentes en la misma, es decir, que la muestra este lo menos afectada posible por los agentes externos del clima.
- **Cantidad:** Se debe adquirir al menos 1 kg de muestra, ya que es una cantidad prudencial, para evitar posibles riesgos de contaminación o pérdida de la misma, lo que significaría un retraso en la investigación.
- **Ubicación:** las muestras deben estar georreferenciadas ya sea por GPS o por algún otro dispositivo de ubicación, e incluso ubicación relativa, para posteriormente representarlas mediante sus coordenadas o mediante algún dato, como por ejemplo, la toponimia, que permita ubicar las muestras en los mapas que se dispongan.

Las muestras obtenidas se analizaron mediante una caracterización mineralógica, por lo que se empleó el método de difracción de rayos X (DRX) y de esta manera se identificó la mineralogía presente en las mismas.

El criterio de calidad para los gráficos de los difractogramas, es que deben de observar los ejes y escalas nítidamente para permitir su correcta lectura e interpretación.

### II.2.1.- Método de difracción de rayos X

Las muestras recolectadas poseen los siguientes ensayos:

1. Toda la fracción tamaño arcilla (muestra total)
2. Solo de los minerales de arcilla, es decir, los filosilicatos (fracción menor a 2  $\mu$ ).

Lo que permitió conocer los minerales de arcilla que se encuentran tanto en la fracción tamaño arcilla como en la muestra total.

La caracterización de las muestras de fracción de partículas tamaño arcilla y posteriormente los minerales de arcilla, se puede realizar por medio de los ensayos, empleando la metodología utilizada por FOURNIER (1999) y ARIAS (2004).

### **II.2.2.- Ensayo de muestra total**

Este ensayo se aplica en una sección que represente toda la muestra y fundamentalmente se utiliza para determinar la mineralogía de los granos tamaño arcilla que presenta la misma, así como los politipos de minerales de arcillas.

•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

### **II.2.3.- Preparación de la muestra para el ensayo en muestra total**

Según ARIAS (2004), el análisis por DRX de las muestras obtenidas se realiza en forma de montura desorientada, para de esta manera identificar la mineralogía total de la muestra y los politipos de minerales de arcilla, por lo que se ejecuta el siguiente procedimiento:

- Se desintegra la muestra mediante un mortero de porcelana, obteniendo un polvo fino
- 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 fino con una espátula manteniéndola perpendicular para lograr la máxima desorientación y posteriormente se llena el espacio de la placa con el polvo.

- Se adhiere un vidrio normal con cinta plástica transparente teniendo cuidado de no hacer mucha presión para no esparcir el polvo.
- Se procede a retirar el vidrio esmerilado cortando las cintas plásticas cuidadosamente con una hojilla, dejando la cara de incidencia de los rayos X desorientada por la superficie esmerilada.

#### II.2.4.- Ensayo en fracción menor a 2 $\mu$

Este método analiza únicamente la sección de filosilicatos presentes en la muestra, los cuales se deben orientar según sus planos basales, esto permite clasificar y cuantificar los minerales de arcillas.

- 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

#### II.2.5.- Preparación de la muestra para el ensayo en fracción menor a 2 $\mu$

Para el óptimo desempeño de este método se debe eliminar de la muestra total el contenido de partículas tamaño arcilla presente que no pertenezcan a los filosilicatos, ya que con este análisis solo se estudia estos últimos y consiste en orientar estos minerales según sus planos basales.

A continuación se detalla la metodología utilizada, según ARIAS (2004):

- Se utiliza una sección de muestra que no haya sido alterada químicamente o 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  $\mu$  retenida. Esta se coloca en un porta muestras de vidrio y se deja secar.

## II.2.6.- Análisis de difracción de rayos X

Al tener las muestras preparadas para los ensayos correspondientes en el difractómetro, se debe calibrar el mismo bajo ciertos parámetros.

### II.2.6.1.- Parámetros para las corridas del difractómetro

<b>Tabla 2.1.- Parámetros para el difractómetro. Modificado de FOURNIER (1999)</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Ensayo muestra total</b>	<b>Ensayo en fracción menor a 2 <math>\mu</math></b>
Intervalo de barrido	3 – 69°	2 – 35°
Tamaño del paso	0,02°2 $\theta$	0,02°2 $\theta$
Tiempo de cada conteo	1,25 seg	0,800 seg
Velocidad	0,016°2 $\theta$ /seg	0,016°2 $\theta$ /seg
Ranura divergente	1°	1,5°
Ranura receptora	0,1°	0,2°
Tipo de montura	Desorientada	Orientada

## II.2.7.- Tratamiento con ethilen glicol (EG)

La aplicación de ethilen glicol (EG) es un proceso al que las muestras son sometidas para verificar la existencia de arcillas expansiva, para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

- Se coloca 200 ml de EG en una cacerola de cierre hermético en conjunto con las muestras.
- Se coloca la cacerola cerrada dentro de un horno a 60 °C por 12 horas.

- Se retiran las muestras de la cacerola una por una, volviéndola a identificar si es necesario.

### II.2.8.- Obtención de resultados

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

Para los resultados obtenidos por el método de ethilen glicol se utiliza el llamado índice de Srodon o de expansibilidad.

#### II.2.8.1.- Índice de Srodon o expansibilidad. SRODON (1984)

Este índice determina la cantidad de mineral illita que se encuentra en una muestra, ya que es muy sensible a la presencia del mismo.

- si  $I_r > 1$  entonces el mineral illita tiene expansividad en algún grado.
- si por el contrario  $I_r < 1$  el mineral no tiene expansividad, lo cual es poco usual.

La ecuación del índice de expansibilidad se calcula de la siguiente forma:

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

### II.3- ETAPA DE OFICINA Y ELABORACIÓN DE MAPAS

Los resultados obtenidos se analizaron para establecer principalmente la mineralogía de las muestras realizando una comparación de los picos obtenidos de los difractogramas con una base de datos ya existente y de esta manera corroborar la mineralogía de las muestras; dichos resultados se representaron mediante tablas y figuras para visualizarlos y comprenderlos de una manera más práctica.

Además se elaboró una base de datos con la información recopilada, tanto bibliográfica como de los datos obtenidos mediante el instituto INVESTITI, abarcando la ubicación, sus características, mineralogía y utilidad, teniendo como finalidad desarrollar los mapas correspondientes donde se localicen los cuerpos arcillosos en el estado Aragua, dichos mapas se digitalizaron en conjunto con la información geológica recaudada, empleando el programa de ArcGIS®, el cual es un *software* que permite la vectorización de mapas cartográficos digitales, además puede georreferenciar los mismos, a su vez entre muchas de las funciones de este programa, el mismo permite incluir información geológica y de esta manera poder ilustrar la ubicación de la clasificación de las arcillas previamente determinadas.

El proceso de vectorización de una imagen en este programa, consiste en sustituir los píxeles del mismo por segmentos vectoriales evitando que los bordes sean limitados por píxeles cuadrados, esto representa una ventaja ya que permite realizar una imagen más nítida, evitando distorsionarse por medio de la ampliación y/o la edición. El programa ArcGIS® cuenta con distintos algoritmos que permite realizar trayectos vectoriales que a su vez representan diversos valores como por ejemplo, las curvas de nivel y así digitalizar un mapa y plasmarle la información de interés.

# CAPÍTULO III

---

## MARCO TEÓRICO

### III.1.- BASES CONCEPTUALES

Las bases teóricas que se definen en esta sección tienen la finalidad de proporcionar el conocimiento necesario para el entendimiento de la investigación, tanto el desarrollo de los conceptos básicos como los métodos prácticos a implementar.

#### III.1.1.-Arcillas

Su significado varía según el contexto en el que se emplee, ya que geológicamente, GARCÍA & SUAREZ (2003) explican distintas connotaciones para este término, desde el enfoque mineralógico son un grupo de minerales, principalmente filosilicatos que poseen un tamaño de grano menor a 2  $\mu\text{m}$ , petrológicamente es una roca sedimentaria, en su mayoría detrítica de tamaño de grano muy fino, con características bien definidas y desde la perspectiva de un sedimentólogo es un término granulométrico correspondiente a sedimentos de tamaño menor a 2  $\mu\text{m}$ . En la figura 3.1 se observa un gráfico con los procesos de origen y formación de los suelos con dicho material arcilloso.

Fuera del ámbito de las ciencias de la tierra, las arcillas se conocen de distintas maneras, como en el área de las industrias ya que las arcillas son un grupo con diferentes características mineralógicas y genéticas que a su vez poseen distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones, como también en el sector de fabricación de cerámicas, debido a que este material natural cuando se mezcla con agua en las cantidades adecuadas se convierte en una masa con propiedades plásticas permitiendo así la moldeabilidad de la misma.

Existen otras aplicaciones masivas de las arcillas minerales: los lodos de perforación de los pozos petroleros, los moldes de fundición y los catalizadores empleados en la refinación del petróleo.

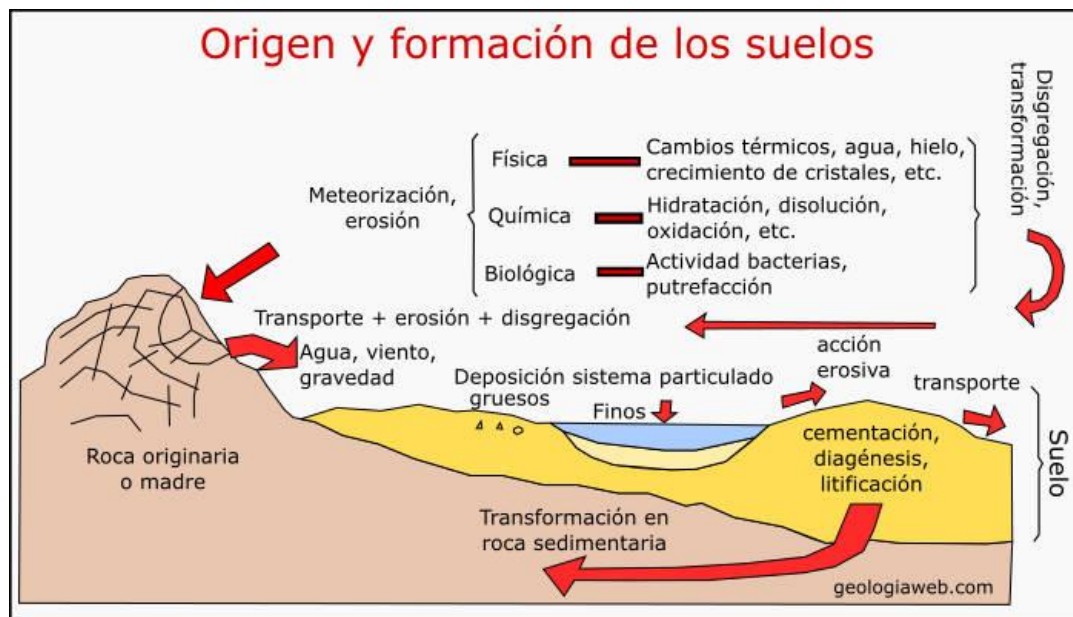


Figura 3.1.- Gráfico del origen y formación de los suelos.

### III.1.2.- Filosilicatos

Debido a que la mayoría de los minerales de arcilla pertenecen al grupo de los filosilicatos, es necesario entender detalladamente sobre sus estructuras para así conocer sus distintas propiedades.

DANA (1960) determina que los filosilicatos poseen como unidad fundamental 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. Existe una preponderancia en los filosilicatos que contienen hidroxilos en su estructura, los cuales se disponen en forma octaédrica con un catión en el centro que puede ser  $Mg^{+2}$  generando la estructura de brucita en hojas trioctaédricas  $Mg_3(OH)_6$  o  $Al^{+3}$  formando la estructura de gibbsita dioctaédricas  $Al_2(OH)_6$ .

De acuerdo con SNETHEN *et al.*, (1975) los minerales de arcilla se clasifican de la siguiente manera:

- Estructuras de arcilla de hojas dobles o t-o: consta con una hoja tetraédrica de silicio (t) unida a una hoja octaédrica de aluminio (o)
- Estructura de arcilla de tres hojas o t-o-t: consiste de una hoja octaédrica (o) unida entre dos hojas tetraédricas (t).
- Estructura de arcillas mixtas: se conforman en interestratificaciones de estructuras de dos o tres estructuras de hojas, siendo su secuencia regular o aleatoria.

**Tabla 3.1.- Clasificación de los filosilicatos. Modificado de GARCÍA & SUAREZ (2003)**

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS	
<b>BILAMINARES</b> T : O 1 : 1		Caolinita		Antigorita
	CANDITAS	Nacrita	SERPENTINA	Crisotilo
		Dickita		Lizardita
		Halloisita		Bertierina
<b>TRILAMINARES</b> T : O : T 2 : 1		Pirofilita		Talco
		Montmorillonita		Saponita
	ESMECTITAS	Beidellita	ESMECTITAS	Hectorita
		Nontronita		
		Vermiculitas		Vermiculitas
		Illitas		
		Moscovita		Biotita
	MICAS	Paragonita	MICAS	Flogopita
			Lepidolita	
<b>T : O . T : O</b> <b>2 : 1 : 1</b>	CLORITAS			
<b>FIBROSOS</b>	Paligorskita		Sepiolita	

### III.1.3.- Propiedades de las arcillas

Mediante las propiedades de las arcillas se derivan las distintas aplicaciones industriales de las mismas, las cuales están directamente relacionadas con su estructura interna. GARCÍA & SUAREZ (2003) definen las principales propiedades físico-químicas de las arcillas, de la siguiente manera:

- 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 interlaminar.

#### III.1.4.- Arcillas Industriales

En el aspecto comercial las arcillas son agrupadas según su utilidad. GARCÍA & SUAREZ (2003) explican que el 90% de las arcillas explotadas se emplean en la elaboración de materiales de construcción y agregados; este grupo es conocido como arcillas comunes y está compuesto principalmente por illita y esmectita en conjunto con otros minerales no pertenecientes a los filosilicatos como el cuarzo; por lo que el 10% restante pertenece al grupo de las arcillas especiales, las cuales se utilizan en diversas industrias; las mismas están compuestas principalmente por un solo tipo de mineral de arcilla, pese a ser más escasas representan el 70% de las arcillas comerciales, como los grupos de las caolinitas, las bentonitas, las paligroskitas-sepiolitas, etc.

#### III.1.5.- Usos de las arcillas industriales

GARCÍA & SUAREZ (2003) determinan 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 (2019) explica que los rayos X son ondas electromagnéticas del mismo tipo de luz visible sin embargo la longitud de onda es menor por lo que son más energéticos.

Para producir los rayos X se utiliza el tubo de Coolidge el cual posee 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

El Servicio Geológico Mexicano (SGM) define que la difracción de los rayos X es un procedimiento que permite la identificación de los minerales, debido a que los mismos poseen estructuras cristalinas definidas.

SCREMIN (2019) determina 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:

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

$\lambda$  = Longitud de Onda  
 $d$  = Espaciamiento entre planos del cristal  
 $\theta$  = Ángulo de incidencia

Por consiguiente al conocer la longitud de la onda y su ángulo incidente, se obtiene el espaciamiento entre los planos de un cristal por lo que a su vez se establece su geometría, dando como resultado final un “difractograma” el cual posee una serie de picos y curvas, los cuales son únicos para cada mineral permitiendo de esta manera identificar 4000 especies distintas.

### **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. Para el desarrollo de este trabajo se implementará este concepto con el conjunto de datos recolectados y analizados, los cuales serán agrupados sistemáticamente en base a su ubicación geográfica, características geológicas y diversos usos.

## **III.2.- MARCO GEOLÓGICO**

### **III.2.1.- Generalidades**

TARDÁGUILA (2002) menciona que en el estado Aragua se observan dos grandes bloques montañosos que ocupan aproximadamente el 73% de la totalidad del estado, localizados al norte y sur en dirección oeste-este, los cuales corresponden respectivamente a las serranías del Litoral y del Interior. En el estado Aragua la litología de las áreas montañosas está conformada por rocas que tienen diversos grados de metamorfismo, y por algunas sedimentarias.

Se presentan diversas fallas y pliegues, que evidencian la geodinámica de la zona. En los Llanos Centrales y en la Depresión del Lago de Valencia, predomina el material sedimentario, el cual ha sido depositado en épocas recientes.

La diversidad geológica hace que se diferencien cinco regiones naturales, ellas son: serranía del Litoral, depresión del Lago de Valencia, serranía del Interior, piedemonte de colinas y galerías de la serranía del Interior y llanos centrales.

Estructuralmente la Cordillera de la Costa es de gran complejidad y su interpretación tectónica regional ha sido complicada, en este sentido BELLIZZIA (1989) establece que las montañas del centro - norte del país están formadas por la superposición de varias napas, cuyos afloramientos son discontinuos en toda su extensión y representan un conjunto polifásico de unidades tectónicas (MAMBIE, 2017).

El delimitar y conocer la génesis de las napas o fajas tectónicas que integran a la Cordillera de la Costa, ha sido de gran interés por diversos autores, lo cual se resume en la Tabla 3.2.

En el trabajo de MENÉNDEZ (1966), se establece la subdivisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas en cuatro fajas tectónicas en función de sus características estructurales. Posteriormente STEPHAN (1982) y BECK (1986) determinaron que era fundamental subdividir a la Faja de la Cordillera de la Costa, puesto que la existencia de un cinturón metamórfico paralelo a la costa muestra el afloramiento de rocas con asociaciones mineralógicas de Alta Presión pero de Baja Temperatura, a este conjunto de rocas lo clasificaron como la Faja Margarita-Costera. Más adelante, URBANI & OSTOS (1989) decidieron que lo idóneo sería incorporar una nueva subdivisión a la original Faja de la Cordillera de la Costa de MENÉNDEZ (1966), el propósito de esta subdivisión es separar a las rocas con protolitos sedimentarios depositados en tiempos Jurásico-Cretácico en el margen pasivo del norte de Suramérica (Faja Caracas) de las rocas con protolitos sedimentarios de origen continental depositados en el precámbrico e intrusionados por rocas ácidas cámbricas (Faja Ávila).

En la Cordillera de la Costa se han clasificado sus unidades ígneo-metamórficas y sedimentarias según su origen, como autóctonas, paraúctonas y alóctonas.

URBANI (2015) define que la naturaleza de los terrenos y unidades presentes en la zona central de la Cordillera de la Costa, es de tipo Alóctono metamórfico con facies de esquisto verde (clorita) a granulita, por lo que la zona de estudio está conformada por el afloramiento de gran parte de las siguientes fajas alóctonas: en la Serranía del Litoral se tiene la Faja Costera (septentrional), Faja Ávila (central), Faja Caracas

(meridional) y en la Serranía del Interior se muestra la Faja Caucagua-El Tinaco, Faja Loma de Hierro y la Faja de Villa de Cura. Los terrenos metamórficos abarcados son: Carayaca, Tacagua, Ávila, Las Mercedes, Las Brisas, Cachinche, Tucutunemo, Paracotos, Villa de Cura y San Sebastián.

A su vez los terrenos de Villa de Cura y San Sebastián junto a la cobertura volcanosedimentaria, se encuentran en contacto de corrimiento sobre el Olistostromo de Platillón (formaciones Garrapata y Los Cajones), y la Napa de Piemontina (formaciones Guárico y Mucaria) a través de la falla de Cantagallo.

<b>Tabla 3.2.-Unidades presentes en el área de estudio.</b>			
<b>Información tomada de URBANI (2004)</b>			
<b>ZONAS</b>	<b>FAJAS</b>	<b>TERRENOS</b>	
<b>Serranía del Litoral</b>	Faja Costera (Septentrional)	Tacagua (s.s.)	
		Carayaca	
	Faja Ávila (central)	Ávila	
		Nirgua	
	Faja Caracas (meridional)	Los Cristales	
		Las Mercedes	
		Las Brisas	
	<b>Serranía del Interior</b>	Faja Caucagua-El Tinaco	Tinaco
			Cachinche
Tucutunemo			
Tácata			
Tacagua (Caucagua)			
Faja Loma de Hierro		Paracotos	
		Loma de Hierro	
Faja Villa de Cura		Villa de Cura	
		San Sebastián	
Faja Piemontina		Olistostromo de Platillón	
	Napa Piemontina		

### III.2.2- Unidades Aflorantes

El estado Aragua se encuentra en la parte central de la Cordillera de la Costa, abarcando gran parte de la Serranía del Litoral y del Interior, y separadas entre sí por la depresión del Lago de Valencia, producto de la actividad del sistema de fallas de La Victoria, de carácter subvertical dextral del Plioceno-Holoceno. Como puede observarse en la Figura 3.1, esta región muestra el afloramiento de gran parte de las seis fajas tectónicas alóctonas definidas por Urbani (2015), con las cuales subdividió a la Cordillera de la Costa, y a su vez se encuentran en contacto de corrimiento sobre el Olistostromo de Platillón y la Napa de Piemontina.

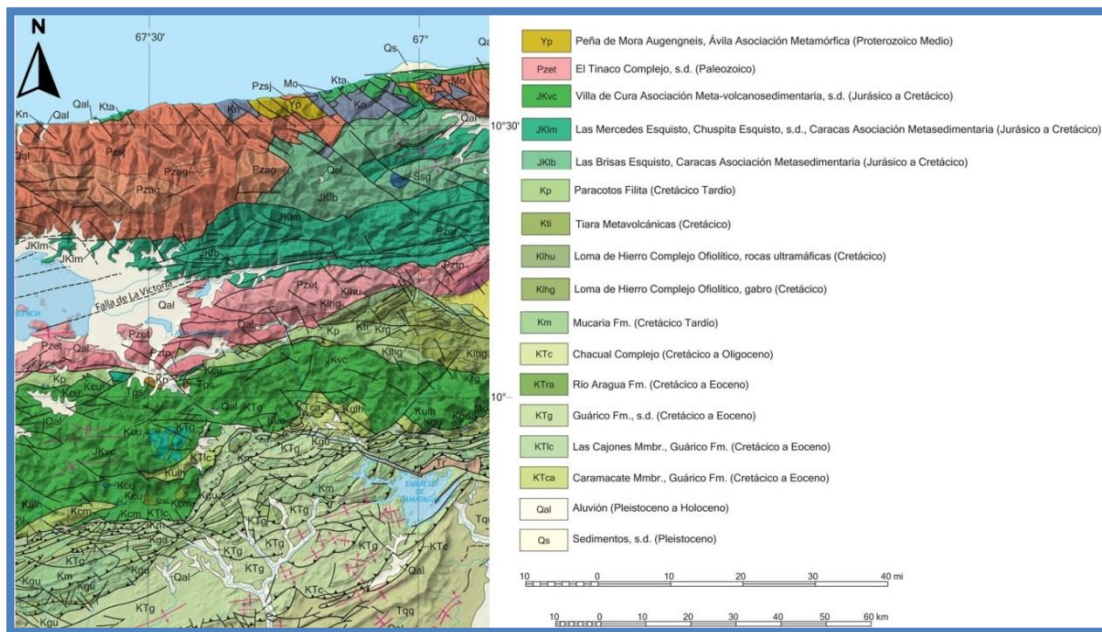


Figura 3.2.- Mapa geológico simplificado de la zona central de la Cordillera de la Costa. Tomado de URBANI (2015).

#### III.2.2.1.- Faja Costera

En la parte septentrional de la zona de estudio se observa el afloramiento de la Faja Costera, que se caracteriza por ser un estrecho cinturón paralelo a la costa. Dicha faja está constituida por Dos terrenos: Tacagua y Carayaca. Ambos terrenos tienen

posibles edades de formación entre el Jurásico – Cretácico (URBANI Y OSTOS 1989) y su depositación probablemente ocurrió en una cuenca antearco.

El Terreno Tacagua está compuesto mayoritariamente por el Esquisto de Tacagua que litológicamente contiene niveles verdes volcánicos, pelítico grafitosos y mármol. Según GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, (1980) se tiene la Asociación de esquisto albítico - calcítico - cuarzo - micáceo - grafitoso, de color gris oscuro (semejantes al esquisto de Las Mercedes), intercalados concordantemente con esquisto cuarzo-albíticoepidótico, (con pequeño porcentaje de actinolita, clorita y moscovita). Se ha reportado que contienen trazas de hematita, calcita, pirita, anfíbol y granate. Ocurre con frecuencia que se clasifique a la roca como una epidocita debido a altas concentraciones de epidoto.

El Terreno Carayaca se compone mayoritariamente del Complejo Carayaca, siendo este un mélangé de complejo de subducción (OSTOS, 1990), presentando asociaciones mineralógicas metamórficas de Alta Presión –Baja Temperatura, donde se mezclan elementos de corteza oceánica con elementos continentales. Según TALUKDAR & LOUREIRO (1981), se presentan las siguientes unidades: Unidad de anfibolitas y esquisto cuarzo feldespático (anfibolitas, esquisto cuarzo feldespático epidótico actinolítico, eclogita anfibólica, cuarcita micácea, gneis feldespático cuarcífero actinolítico epidótico). Unidad de anfibolitas y mármoles (anfibolita, mármol, esquisto carbonático moscovítico grafitico, esquisto cuarzo moscovítico granatífero, esquisto cuarzo moscovítico graucofánico granatífero). Unidad de anfibolita (anfibolita, esquisto moscovítico carbonático grafitico). Otra unidad de este Terreno es el Mármol de Antimano que litológicamente es un mármol masivo con intercalaciones de anfibolita granatífera y cuerpos lenticulares de eclogitas. Según DENG (1951) lo define como un Mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirita, alternando con capas de esquisto cuarzo micáceo, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibolicas granatíferas, algunas con estructuras de “boudinage” y cuerpos lenticulares de eclogitas. El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo, moscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirita (2%)

### III.2.2.2.- Faja Ávila

En la parte central de la Serranía del Litoral aflora el Terreno Ávila, teniendo la mayor extensión areal en la misma. En la zona de estudio afloran las siguientes unidades: el Complejo San Julián, de posible edad Proterozoica, que muestra una mezcla de roca metasedimentarías y metaígneas (tonalíticas a graníticas) de origen continental, así como varias unidades metaígneas plutónicas envueltas por el complejo San Julián, con edades que van del Cámbrico al Ordovícico: Gneis Granítico de Choróní, Gneis Cabriales y Metagranito de Guaremal, teniendo este último relaciones claramente intrusivas con el Complejo San Julián. Aunque la facies de la anfibolita epidótica parece ser la más extensamente expuesta para este terreno, GRANDE & URBANI (2009), URBANI (2010) y JAIMES (2012) sugieren que localmente el metamorfismo pudo llegar a alcanzar la facies de la anfibolita. Posteriormente, durante el Terciario las rocas sufrieron metamorfismo retrogrado, que los llevo a la facies de esquistos verdes (clorita).

### III.2.2.3.- Faja Caracas

Hacia la parte meridional de la Serranía del Litoral las rocas dominantes son las que pertenecen a la Faja Caracas, con sus dos terrenos ampliamente conocidos: Las Mercedes y Las Brisas, del Jurásico Tardío- Cretácico Temprano, los cuales fueron depositados en el margen pasivo del norte de Suramérica (URBANI, 2015). El Terreno Las Mercedes está compuesto en casi su totalidad por el Esquisto de las Mercedes, cuyo protolito se sedimentó en una cuenca con condiciones anóxicas. Esta unidad se ha considerado como el equivalente metamorfizado, durante la interacción de las placas Caribe y suramericana, de las formaciones La Luna y Querecual (AGUERREVERE & ZULOAGA, 1937). Según WEHRMANN (1972) la litología preponderante es Esquisto cuarzo-moscovíticocalcítico- grafitoso (con cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica), presentando intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, moscovita, grafito, piritita y óxidos de hierro. El mármol cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado “Mármol de Los Colorados”. En general las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el

color característico es el gris parduzco. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, estados Vargas y Miranda.

El Terreno Las Brisas, cuyo protolito fue depositado en un ambiente de aguas someras, tiene como unidad mayoritaria al Esquisto de Las Brisas constituido en su mayor parte por esquisto cuarzo moscovítico, metarenisca y metaconglomerados, aunque también incluye cuerpos de dimensiones métricos a hectométricos de mármol mayormente dolomíticos (subunidad del Mármol de Zenda) interpretada como "megabudines" por LAUBSCHER (1955), que probablemente correspondieron a olistolitos o megaolistolitos (URBANI, 2015).

#### III.2.2.4.- Faja Caucagua- El Tinaco

La faja ubicada hacia el norte de la Serranía del Interior corresponde a la Faja Caucagua – El Tinaco, en donde afloran los Terrenos Cachinche y Tucutunemo.

El Terreno Cachinche corresponde a una unidad metasedimentaria, que se extiende desde la parte oriental de la cuenca cuaternaria de Tinaquillo hasta cerca de Taiguaiguay. Esta unidad presenta varias litologías: -Esquisto cuarzo - micáceo, clorítico, granatífero, hornblendico, cuarcita, esquisto grafitoso -Gneis cuarzo - feldespático. -Gneis cuarzo -feldespático, granatífero, esquisto granatífero. -Gneis hornblendico feldespático.

El Terreno Tucutunemo de edad Paleozoico Tardío (BENJAMÍN *et al.*, 1986), presenta rocas metasedimentarias intercaladas con rocas volcánicas, algunas con estructuras almohadilladas. Posiblemente correspondan a un marco de *rift* continental incipiente (GRANDE, 2009). GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, (1980) señala que la unidad está compuesta por filita azul, carbonácea y comúnmente tiende a hacerse arenosa; presentando mica blanca de origen metamórfico. También posee mármol de color gris oscuro o negro, microcristalino, con aspecto moteado, impuro, con cristales de cuarzo y albita de bordes reentrantes, que constituyen hasta el 30% de la roca y escasos fragmentos de fósiles y desarrollan fuerte foliación metamórfica; así mismo se tiene

metaconglomerado de color blanco a gris oscuro, con mal escogimiento, con guijarros de cuarzo de veta, plagioclasa y menor cantidad de metaftanita. Existe un aumento de elementos volcánicos hacia la base de la Filita de Tucutunemo, al oeste de la localidad tipo.

#### III.2.2.5.- Faja de Loma de Hierro

En la parte central de la Serranía del Interior se ubica la Faja tectónica de Loma de Hierro, en la zona de estudio esta Faja está constituida en su totalidad por la Filita de Paracotos del Maastrichtiense y cuya depositación ocurrió en un ambiente turbidítico, mostrando una clara afinidad a un depósito tipo *flysch* lo cual permite que sus protolitos se caractericen por tener litologías tipo: lutitas, limolitas, areniscas, conglomerados y calizas. Las rocas fueron afectadas por un metamorfismo de muy bajo grado mostrando incipiente esquistosidad (URBANI, 2015).

Estas rocas muestran una foliación muy consistente, paralela a la dirección de la traza del corrimiento de Agua Fría. En el contacto con la Faja de Caucagua-El Tinaco y la Faja de Villa de Cura es muy común hallar cuerpos de serpentinita y ofiolitas desmembradas (Peridotita de Loma de Hierro, el Complejo Peridotítico de Tinaquillo). Se ha generado una interpretación donde se juntaron las rocas peridotíticas de Loma de Hierro con la Filita de Paracotos llamando a esta unión “Napa Ofiolítica de Paracotos – Loma de Hierro” (BECK, 1980).

#### III.2.2.6.- Faja Villa de Cura

Más hacia el sur aflora el Terreno Villa de Cura, este Terreno del Cretácico Temprano corresponde a un complejo de arco de islas, constituido por metapiroclásticas las cuales sufrieron metamorfismo de Alta Presión - Baja Temperatura debido a un proceso de subducción, en la zona de estudio solo se puede observar el afloramiento hacia el sur de una pequeña franja de la unidad de Metatoba El Caño – El Chino (URBANI, 2015).

El Terreno San Sebastián aflora hacia el sur en forma de pequeños cuerpos de Gabros de edad Cretácico Tardío.

Actualmente la Faja de Villa de Cura está conformada por los terrenos Villa de Cura y San Sebastián y su cobertura sedimentaria. El dominio alóctono, al cual corresponde estos terrenos, y su cobertura sedimentaria, están constituidas por un conjunto de escamas transportadas desde el noroeste (POLANCO 2004). Las estructuras poseen en su mayoría una orientación preferencial noreste al sureste (GUILLÉN Y TORIBIO 2006). Estructuras regionales como las fallas de La Puerta y Guárico son transcurrente dextrales, con rumbo noroeste – sureste (BELL, 1968).

#### III.2.2.7.- Faja Piemontina

La Faja Piemontina está conformada por el Olistostromo de Platillón y la Napa Piemontina, es de naturaleza parautóctono.

El Olistostromo de Platillón de edad Paleoceno temprano – Eoceno Medio en el área de estudio, es producto de una sedimentación caótica generada durante la fase final de la interacción de las Placas del Caribe y Suramérica (VIVAS & MACSOTAY 1997). Su génesis se relaciona al pie del talud epicontinental de la placa suramericana, sobre la cual avanzaban los terrenos alóctonos del Caribe durante el Eoceno temprano y medio.

La Napa Piemontina con una edad que va del Cretácico Tardío (Campaniense) al Eoceno temprano, se asocia a la depositación de secuencias sobre el talud, a lo largo del eje axial de la antefosa formada por la convergencia de las placas del Caribe y suramericana.

#### III.2.3.- Geología Estructural

La zona de estudio presenta diversas deformaciones que evidencian los eventos que regionalmente muestran la configuración tectónica de gran parte de las fajas y terrenos que se emplazaron en el límite norte de la placa Suramericana como resultado

de la interacción entre la placa Caribe y la placa Suramericana, generando la región que conforma parte del núcleo central de la Cordillera de la Costa.

Por lo que la región centro-norte de Venezuela presenta una complejidad estructural bastante considerable. Esta región ha sido dividida por innumerables autores, algunos de ellos la han dividido en dominios autóctonos, alóctonos y parautóctonos (PEIRSON *et al.*, 1966).

OSTOS (1990) menciona que existen cuatro fases de plegamiento principales en las fajas, las primeras dos ocurrieron durante el Paleozoico, antes del emplazamiento de las mismas y se evidencian en las fajas de Cauagua-Tinaco y el Ávila. La configuración actual es el resultado de la interacción de las otras dos fases de deformación que ocurrieron a partir del Cretácico Tardío y el Terciario Medio, afectando a todos los terrenos presentes, permitiendo el adosamiento a la parte norte del continente suramericano.

Este autor a su vez reconoce tres sistemas de fallas principales en las fajas y terrenos de interés, las cuales son: fallas transcurrentes dextrales y de corrimiento de orientación este - oeste. Fallas transcurrentes dextrales orientadas noroeste - sureste, estas fallas están relacionadas con el último período de plegamiento. Y, fallas normales con rumbo este - oeste, posteriores a las descritas anteriormente y en la actualidad se encuentran activas.

El sistema de falla más representativo es el de la Victoria ya que este sistema corta al Lago de Valencia de forma longitudinal, en sentido aproximado N80°E y E-W.

El dominio parautóctono, al cual corresponden el Olistostromo de Platillón y la Napa Piemontina, representa una provincia estructural contenida entre dos sistemas principales de fallas. El límite meridional está delimitado por la Falla de Corrimiento Frontal Piemontina, a lo largo de la cual la faja se encuentra en contacto, ya sea con la zona de corrimiento, o con la Faja Volcada. El límite septentrional está constituido por la serie de fallas que separan la Faja Piemontina y la de Villa de Cura. La Faja Piemontina se caracteriza por plegamientos acostados hacia el sur y por la presencia de fallas de

corrimientos con buzamiento norte, que afectan a las formaciones Mucaria y Guárico (BELL, 1968), las fallas de corrimiento siguen principalmente planos de estratificación.

DÍAZ (2014) establece que en la región resaltan dos grande fallas, el frente de corrimiento que limita a la Faja de Villa denominada falla de Cantagallo, la cual, pone en contacto las unidades de carácter alóctono con las parautóctono; y la falla transcurrente y parcialmente de corrimiento de Don Alonso que pone en contacto al Olistostromo de Platillón con la Napa Piemontina.

#### **III.2.4.- Geología Cuaternaria**

El Cuaternario es el último periodo de la tabla del tiempo geológico que abarca los últimos 2.6 millones de años y se caracteriza por marcar los cambios geomorfológicos en los relieves actuales mediante una interacción de procesos exodinámicos y neotectónicos. Este periodo se divide en dos épocas, el Pleistoceno y el Holoceno, marcadas por diversas glaciaciones que han contribuido con el modelado del relieve actual (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

A lo largo de la Cordillera de la Costa los sedimentos que han rellenado las cuencas cuaternarias provienen principalmente de las elevaciones de la sierra del litoral y del interior emplazadas tectónicamente, las mismas han sufrido grandes procesos de meteorización, erosión y transporte debido a cambios climáticos del ambiente tropical que influye en la descomposición mineralógicas de las rocas.

En el estado Aragua la cuenca receptora de los depósitos cuaternarios, de la época del Pleistoceno como la del Holoceno, es la depresión del lago de Valencia, su estructura se encuentra limitada al norte por la serranía del litoral y al sur por la serranía del interior; dichas serranías tectónicas están controladas por la zona de fallas de La Victoria.

PEETERS (1968, 1970, 1971,1973) establece que el inicio de la depositación en el lago, es en un periodo pluvial del Pleistoceno, definido como “Lago Valencia I” como consecuencia del represamiento de las aguas; esto dio origen a los conos aluviales y sedimentos fluviales procedentes de los valles de Aragua; posteriormente ocurre un

periodo de desecación en el Pleistoceno denominado “Lago Valencia II”, las zonas secas fueron rellenadas por napas de gradación y por conos de deyección de los ríos, por lo que se produjo un periodo de depositación de material principalmente grueso como peñones, gravas y arenas gruesas. Inicia un nuevo periodo pluvial, donde el cuerpo de agua alcanza un espacio de 427 m, el cual se denomina “Lago de Valencia III” que datado por estratigrafía relativa inicio su sedimentación hace 15.000 años. El periodo de sedimentación actual del lago es denominado “Lago Valencia IV”.

# CAPÍTULO IV

## RESULTADOS

### IV.1- GENERALIDADES

Como se estableció en el capítulo III de Metodología, se representan los resultados obtenidos a partir de la información recopilada de distintas fuentes, tanto bibliográficas como las aportadas por el instituto INVESTI, comprendiendo un registro de 35 muestras en total, que se encuentran distribuidas en diversas zonas del estado Aragua; tres se obtuvieron de un Trabajo Especial de Grado ( ver Tabla 4.1) y el restante de 32 muestras fueron aportadas por investigaciones realizadas por el instituto INVESTI (ver Tabla 4.2). Cada muestra recolectada contenía una serie de difractogramas de muestras naturales, glicoladas y de fracciones menor a una micra (ver Figura 4.1).

Nombre	Autor(es)	Año	# Muestras	Nombres de las muestras	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	3	Hda. Buen Paso	Ciencias	Química	ICT (Instituto de Ciencias de la Tierra)
				Guayas			
				Qda. Guayas			

Tabla 4.2: Muestras del estado Aragua recolectadas por INVESTI		
Muestras	Muestras	Observaciones
INV#12	INV#910	Se observan 32 muestras procedentes del estado Aragua de las 1245 recolectadas a nivel nacional como parte del programa "Arcillas Industriales de Venezuela".
INV#13	INV#911	
INV#15	INV#912	
INV#18	INV#913	
INV#19	INV#914	
INV#20	INV#915	
INV#21	INV#916	
INV#23	INV#917	
INV#25	INV#918	
INV#26	INV#919	
INV#27	Loma de Hierro	
INV#28	P9	
INV#29	P10	
INV#30	P13	
INV#743	P16	
INV#909	MOP	

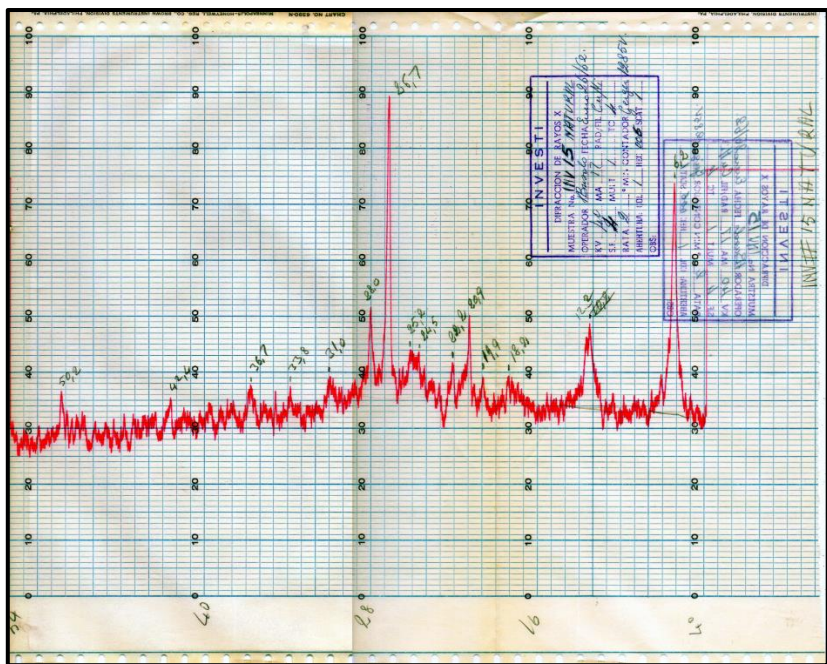


Figura 4.1.- Difractograma de la muestra INV 15 Natural

Las muestras obtenidas por el TEG se encuentran ubicadas por medio de coordenadas UTM, mientras que las fichas otorgadas por INVESTI cuentan con una ubicación relativa. Estas últimas fueron graficadas con el software *Google Earth*

obteniendo coordenadas de proyección UTM. Estas coordenadas luego fueron introducidas en un Sistema de Información Geográfico (SIG) tales como ArcGIS© y QGIS.

Dichas fichas muestran tablas con cálculos del espaciado de planos (d), ángulo 2θ, intensidad relativa (I) y mineral asociado a cada pico (ver Figura 4.2).

INV #15						
6.2	1424	74	Verm (001)	30	41	1 41 100
12.3	719	49	Verm (002)	32	17	Verm on h.c. 2 17 41
20.9	4247	50	Q5 (100)			Q5 3 —
22.2	4001	42	Diopside?			Flar 4 11 27
24.5	(3631)	44	Verm 004	53	11	Diopside (?)
25.2	(3531)					
26.7	3336	90	Q5 (001)			No id.
28.0	3184	52	Flar			No of flar. or laked - determination based on int. of 100% reflex.
36.7	2447	38	Q5			
42.4	2130	36	Q5			
50.2	1815	37	Q5			

Camatagua de la Vega. - Hda. El Samon ± 2 Km. del pueblo  
Aragua ?

Figura 4.2.- Ficha de la muestra INV 15 Natural

Al momento de ubicar las muestras fue imprescindible generar una nomenclatura propia para este trabajo, con la finalidad de integrar todas las diversas fuentes de información en una única nomenclatura “estándar” sin importar el origen de las mismas. Se estableció utilizando las iniciales de proyecto Atlas de Arcillas (AA) en conjunto con las iniciales del estado Aragua (Ar) y un número diferenciador de las muestras (ver Tabla 4.3).

<b>TABLA 4.3: Nomenclaturas de las muestras</b>				
<b>Nomenclatura Nueva</b>	<b>Nomenclatura Original</b>	<b>Coordenada E</b>	<b>Coordenada N</b>	<b>Autor de la muestra</b>
AAAr1	Hda. Buen Paso	721344	1048576	Lara, A.
AAAr2	Guayas	731123	1087347	Lara, A.
AAAr3	Qda. Guayas	688490	1132076	Lara, A.
AAAr4	INV#12	688490	1132076	INVESTI
AAAr5	INV#13	681034	1130907	INVESTI
AAAr6	INV#15	687342	1131343	INVESTI
AAAr7	INV#18	687342	1131343	INVESTI
AAAr8	INV#19	667640	1118406	INVESTI
AAAr9	INV#20	655701	1123542	INVESTI
AAAr10	INV#21	657030	1129516	INVESTI
AAAr11	INV#23	657030	1129516	INVESTI
AAAr12	INV#25	657030	1129516	INVESTI
AAAr13	INV#26	660874	1110148	INVESTI
AAAr14	INV#27	739414	1078480	INVESTI
AAAr15	INV#28	727728	1051375	INVESTI
AAAr16	INV#29	730520	1052876	INVESTI
AAAr17	INV#30	731299	1052997	INVESTI
AAAr18	INV#743	733475	1056888	INVESTI
AAAr19	INV#909	734753	1059359	INVESTI
AAAr20	INV#910	734753	1059359	INVESTI
AAAr21	INV#911	737819	1064377	INVESTI
AAAr22	INV#912	739966	1078353	INVESTI
AAAr23	INV#913	738454	1078971	INVESTI
AAAr24	INV#914	737491	1079754	INVESTI
AAAr25	INV#915	735391	1081720	INVESTI
AAAr26	INV#916	705128	1123496	INVESTI
AAAr27	INV#917	739717	1078414	INVESTI
AAAr28	INV#918	739597	1073917	INVESTI
AAAr29	INV#919	729504	1090702	INVESTI
AAAr30	Loma de Níquel	739681	1078382	INVESTI
AAAr31	P9	733725	1082441	INVESTI
AAAr32	P10	721344	1048576	INVESTI
AAAr33	P13	731123	1087347	INVESTI
AAAr34	P16	688490	1132076	INVESTI
AAAr35	MOP	688490	1132076	INVESTI

Las muestras se graficaron en una base cartográfica a escala 1:25000 utilizando las coordenadas absolutas y relativas; dicha base topográfica en conjunto con la geológica, 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 tutorados por los profesores Franco Urbani y Ricardo

Alezones; dicha información fue reeditada y digitalizada teniendo como finalidad los mapas de este trabajo, donde se ubicaron las muestras de arcillas obtenidas.

Con base a su ubicación geográfica se generó una agrupación de las muestras en una primera clasificación, agrupándolas en lugares con características geomorfológicas similares tales como cuencas sedimentarias, dicha agrupación es conveniente ya que las muestras comparten ciertas características como aportes de sedimentos (importante para la generación de arcillas). Posteriormente, al ya tener ubicadas las muestras se puede realizar una segunda clasificación, esta vez en base a la mineralogía obtenida por los difractogramas.

Como se observa en la figura 4.3 las muestras de arcillas, se localizan en zonas deprimidas asociadas a cuencas sedimentarias donde afloran rocas y/o sedimentos consolidados y no consolidados.

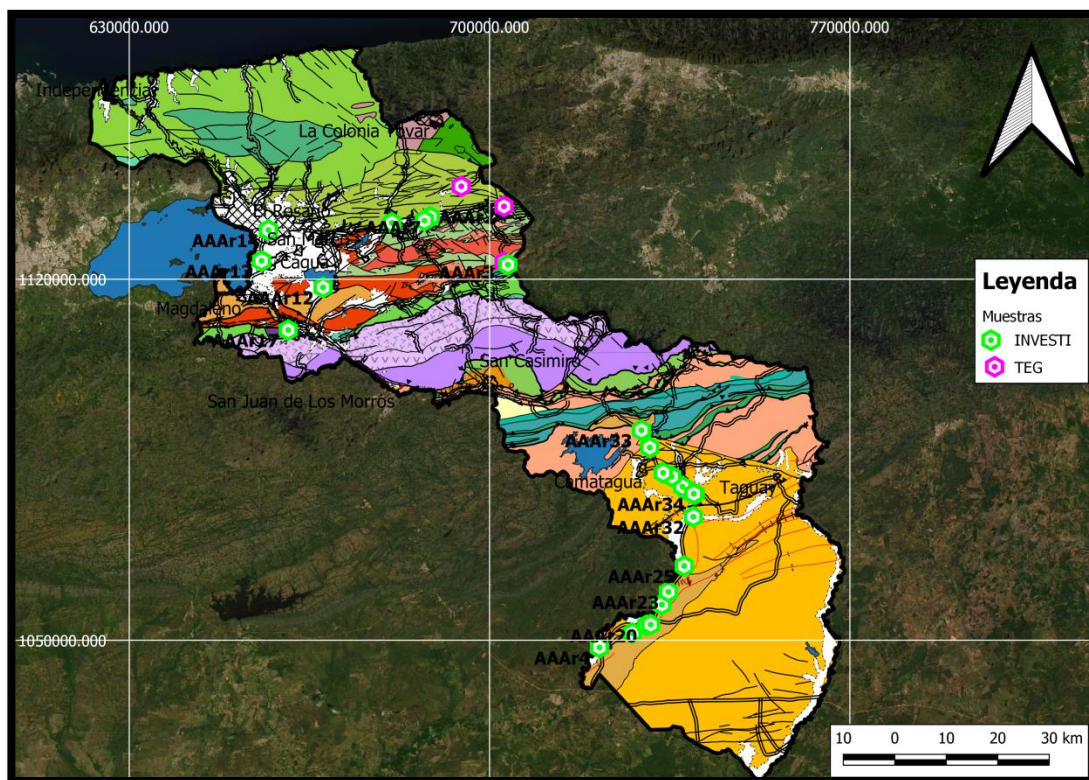


Figura 4.3.- Mapa esquemático del estado Aragua con las muestras de arcilla

Las muestras de arcillas se concentran principalmente en dos cuencas sedimentarias del estado Aragua, que son la sección norte de la subcuenca de Guárico de la cuenca Oriental y la cuenca del Lago de Valencia, como se aprecia en la figura 4.4.

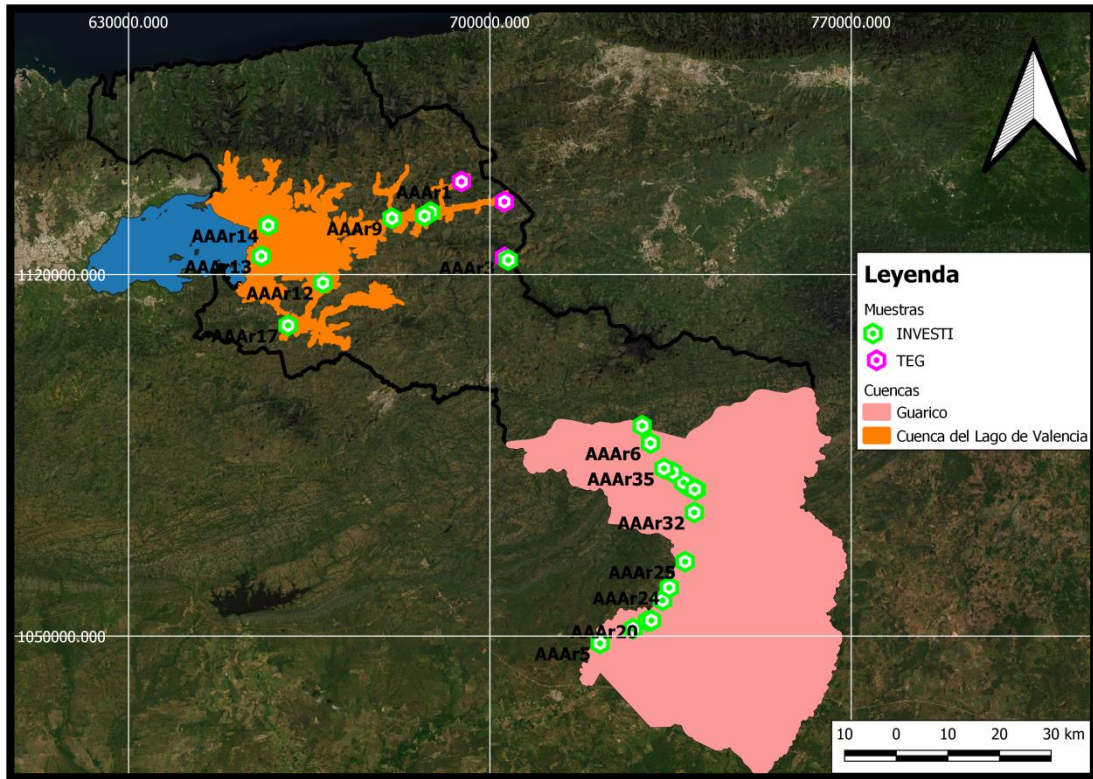


Figura 4.4.- Cuencas sedimentarias del estado Aragua

Las muestras AAAr3 y AAAr30 se explicarán de manera individual debido a que se encuentra retiradas del límite de las cuencas por lo que su origen es distinto al resto de muestras.

#### IV.1.1.- Cuenca de Guárico

La tabla 4.4 presenta las muestras comprendidas en la subcuenca de Guárico, siendo un total de 20 muestras que se distribuyen desde la localidad de Barbacoas al sur, hasta el embalse de Camatagua al norte.

Estas muestras fueron aportadas por INVESTI, en su mayoría recolectadas en las formaciones sedimentarias como las formaciones Quebradón y Roblecito, sin embargo, las muestras AAAr18 y AAAr32 representan sedimentos recientes, no consolidados pertenecientes a los lados de los cauces de los drenajes y ríos.

En primera instancia se analizarán como un solo grupo debido a que las fuentes de aporte de sedimentos provienen del norte de la Serranía del Interior, sin embargo, sería posible una división entre las muestras provenientes de rocas consolidadas de formaciones sedimentarias y las que se encuentran en sedimentos recientes transportados por ríos.

La tabla 4.4 también ilustra que las muestras presentes en esta cuenca tienen la misma fuente bibliográfica proporcionada por el instituto INVESTI.

<b>TABLA 4.4: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA CUENCA DE GUÁRICO</b>			
Muestra	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAAr4	721344	1048576	INVESTI
AAAr5	721344	1048576	INVESTI
AAAr6	731123	1087347	INVESTI
AAAr18	739414	1078480	INVESTI
AAAr19	727728	1051375	INVESTI
AAAr20	730520	1052876	INVESTI
AAAr21	731299	1052997	INVESTI
AAAr22	733475	1056888	INVESTI
AAAr23	734753	1059359	INVESTI
AAAr24	734753	1059359	INVESTI
AAAr25	737819	1064377	INVESTI
AAAr26	739966	1078353	INVESTI
AAAr27	738454	1078971	INVESTI
AAAr28	737491	1079754	INVESTI
AAAr29	735391	1081720	INVESTI
AAAr31	739717	1078414	INVESTI
AAAr32	739597	1073917	INVESTI
AAAr33	729504	1090702	INVESTI
AAAr34	739681	1078382	INVESTI
AAAr35	733725	1082441	INVESTI

#### **IV.1.2-Cuenca del Lago de Valencia**

La tabla 4.5 representa las muestras localizadas en la cuenca del lago de Valencia, comprendiendo una totalidad de 13 muestras distribuidas a lo largo del este

del cuerpo de agua en secciones de sedimentos recientes no consolidados. La cuenca se dividió en tres secciones con base al área de recepción más importante de sedimentos, denominadas: Lago de Valencia, Embalse de Taiguaguay y La Victoria (Figura 4.5).

En este caso las muestras fueron aportadas por INVESTI, con las excepciones de las muestras AAAr1 y AAAr2 proporcionadas por el trabajo de grado de LARA (2014).

TABLA 4.5: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA			
Muestra	Coordenada E	Coordenada N	Fuente Bibliográfica
AAAr1	694500	1138000	TEG
AAAr2	702800	1134100	TEG
AAAr7	688490	1132076	INVESTI
AAAr8	688490	1132076	INVESTI
AAAr9	681034	1130907	INVESTI
AAAr10	687342	1131343	INVESTI
AAAr11	687342	1131343	INVESTI
AAAr12	667640	1118406	INVESTI
AAAr13	655701	1123542	INVESTI
AAAr14	657030	1129516	INVESTI
AAAr15	657030	1129516	INVESTI
AAAr16	657030	1129516	INVESTI
AAAr17	660874	1110148	INVESTI

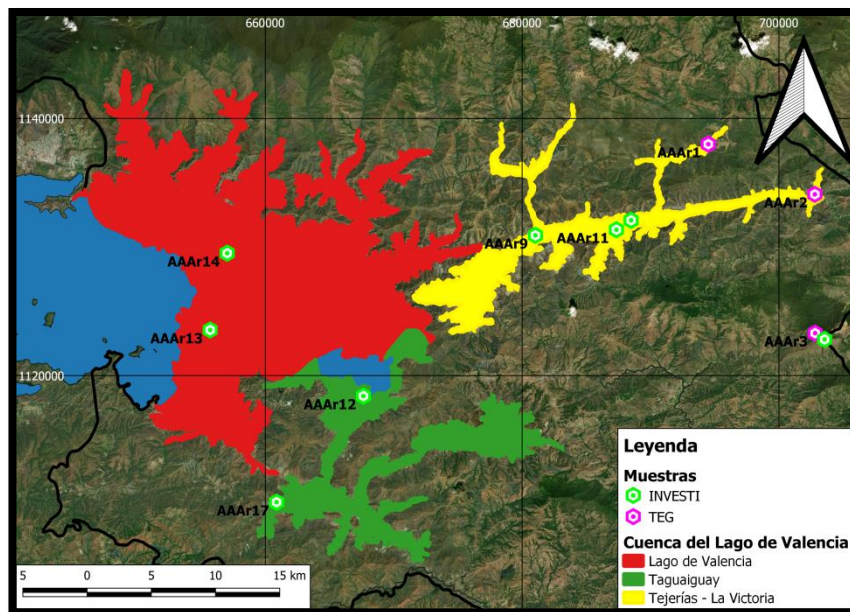


Figura 4.5.- División de la cuenca del Lago de Valencia según su fuente de aporte.

## IV.2- DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X

Posterior a la clasificación geográfica en los mapas digitalizados en escala 1:25.0000 se procedió a realizar una segunda clasificación basada en el mineral de arcilla en común por medio de la digitalización de los picos de los difractogramas que se encontraban escaneados mediante una aplicación de HTML5 generando una serie de archivos CSV, realizada en el marco del Atlas de Arcillas por CAPPuccio (2021). Con esta nueva agrupación se interpreta con mejor precisión el origen geológico de estas muestras además de sectorizar por zonas el tipo de uso industrial que poseen las mismas según la mineralogía asociada. Esta información fue “anclada” al mapa en conjunto a una base datos con toda la información correspondiente a las muestras de arcillas.

La segunda clasificación se realizó a partir de cinco minerales de arcilla que se encuentran mayoritariamente en las muestras, los cuales son la vermiculita, montmorillonita, illita, caolinita y clorita; los mismos se identificaron mediante los picos de los difractogramas de donde se adquirió el ángulo  $2\theta$  que en conjunto con la Ley de Bragg se procedió a calcular el espaciamiento entre los planos ( $d$ ) del mineral; el valor resultante se comparó con las tablas JCPDS. Sin embargo se encuentran distintas especies minerales en que sus picos en los difractogramas se solapan debido a que su espaciamiento interplanar es similar; esto ocurre con la montmorillonita y la vermiculita, que en el difractograma de muestra natural dichos valores de espaciamiento interplanar oscilan entre los 14 y 15 Å, por lo que la manera de diferenciar estos minerales de arcilla es recurriendo a los difractogramas de muestra glicolada. Debido a que la montmorillonita forma complejos de doble capa con glicerol, provocando que la misma expanda su espaciamiento interplanar hasta aproximadamente 18 y 17.8 Å mientras que la vermiculita permanece inalterable, permitiendo diferenciar estos minerales (JUSTO Y MORRILLO, 1999).

A continuación se detalla esta segunda clasificación de las muestras con base a su mineralogía a partir de la primera clasificación realizada de las cuencas.

#### IV.2.1.- Muestras de la cuenca de Guárico

Estas muestras se clasificaron en una misma unidad puesto que la fuente de aporte de las mismas proviene de la serranía del interior. En la tabla 4.6 se detallará la mineralogía total obtenida de los difractogramas de las muestras pertenecientes a esta cuenca.

<b>Muestras</b>	<b>Mineralogía total</b>
AAAr4	vermiculita, illita, cuarzo, feldespato
AAAr5	vermiculita, illita, cuarzo, feldespato
AAAr6	vermiculita, cuarzo, diásporo, feldespato
AAAr18	illita, caolinita, cuarzo, yeso.
AAAr19	illita, vermiculita, caolinita, cuarzo, feldespato
AAAr20	illita, vermiculita, caolinita, cuarzo, feldespato
AAAr21	illita, vermiculita, caolinita, cuarzo, feldespato
AAAr22	vermiculita, illita, caolinita, cuarzo, feldespato
AAAr23	illita, caolinita, cuarzo, yeso, feldespato, vermiculita
AAAr24	caolinita, illita, cuarzo, feldespato, vermiculita, goethita
AAAr25	illita, caolinita, vermiculita, cuarzo, yeso, goethita, feldespato
AAAr26	vermiculita, illita, caolinita, clorita, cuarzo, yeso
AAAr27	illita, caolinita, vermiculita, cuarzo, yeso, feldespato, hematita
AAAr28	illita, caolinita, vermiculita, cuarzo, goethita, feldespato
AAAr29	illita, caolinita, vermiculita, cuarzo, hematita, feldespato, goethita
AAAr31	illita, caolinita, clorita, yeso, cuarzo, vermiculita
AAAr32	illita, caolinita, clorita, cuarzo, clorita
AAAr33	caolinita, illita, cuarzo, yeso, clorita, feldespato.
AAAr34	caolinita, illita, vermiculita, cuarzo, feldespato.
AAAr35	vermiculita, illita, caolinita, cuarzo, feldespato, yeso

La especie mineral más abundante corresponde al cuarzo que se encuentra en las 20/20 muestras descritas junto con el feldespato presente en 16/20 muestras; con respecto a los minerales de arcillas, en la mayoría de las muestras se encuentra presente la illita, seguido de la caolinita y la vermiculita sin embargo la presencia de la clorita es poca y la montmorillonita es nula; A continuación se mostrará en la figura 4.6 un gráfico de porcentaje de los minerales de arcillas presentes en esta cuenca.

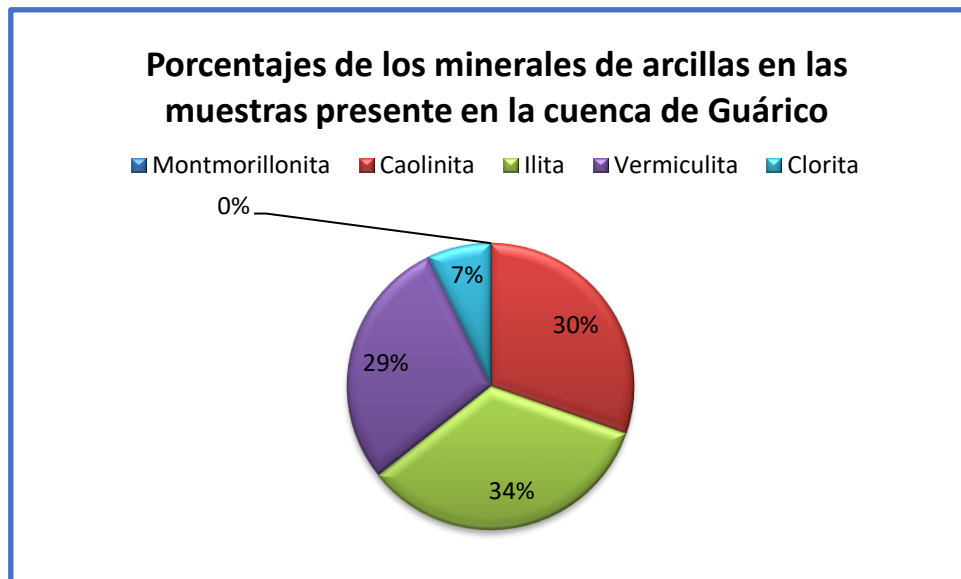


Figura 4.6.- Gráfico de porcentaje de los minerales de arcillas presentes en la cuenca de Guárico

Por consiguiente, se procede a detallar las características de los cuatro minerales de arcilla presentes en esta cuenca, según su jerarquía en abundancia, de mayor a menor.

#### IV.2.1.1- Illita

Como se mencionó anteriormente, el mineral de arcilla illita, es el más abundante en esta cuenca, puesto que se encuentra presente en 19 de las 20 muestras (ver Tabla 4.7).

<b>TABLA 4.7: Muestras con la presencia de illita en la cuenca de Guárico</b>				
AAAr4	AAAr20	AAAr24	AAAr28	AAAr33
AAAr5	AAAr21	AAAr25	AAAr29	AAAr34
AAAr18	AAAr22	AAAr26	AAAr31	AAAr35
AAAr19	AAAr23	AAAr27	AAAr32	

En la figura 4.7 muestra el mapa de la zona donde se encuentran ubicadas las muestras con la presencia del mineral de illita, a su vez al ser un mapa geológico ilustra las formaciones Quebradón y Roblecito, donde pertenecen las mismas; en la tabla 4.8 se distribuyen las muestras según la formación donde se encuentran. Esto es de gran

interés e importancia para el siguiente capítulo de la investigación donde se interpreta el posible origen.

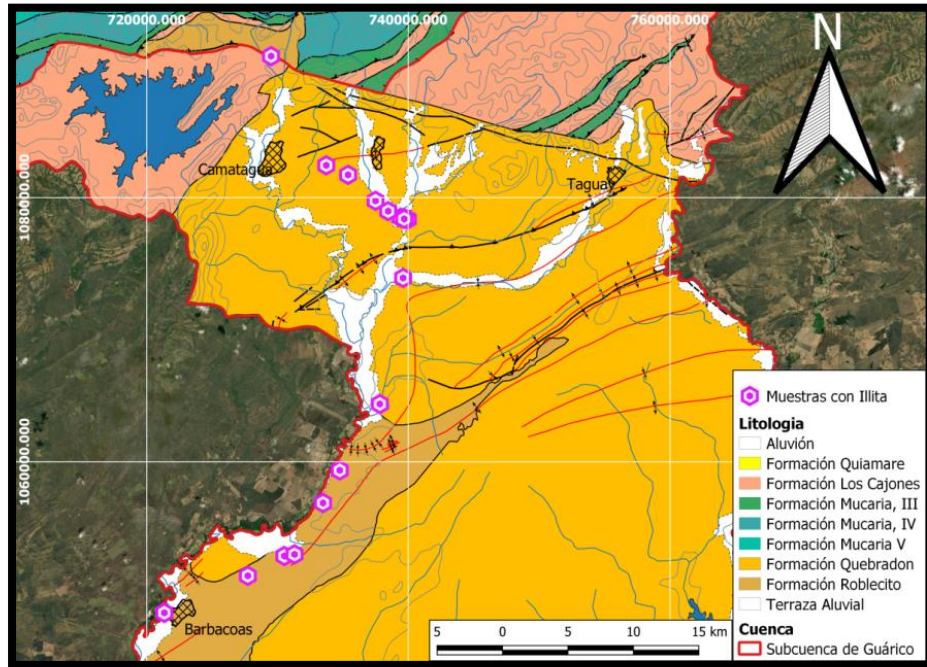


Figura 4.7.- Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla illita

<b>TABLA 4.8: Muestras con presencia de illita ubicadas en sus respectivas zonas</b>		
Aluvi3n	Form. Roblecito	Form. Quebrad3n
AAAr4	AAAr19	AAAr25
AAAr5	AAAr20	AAAr26
AAAr18	AAAr21	AAAr27
AAAr32	AAAr22	AAAr28
	AAAr23	AAAr29
	AAAr24	AAAr31
		AAAr34
		AAAr35

El difractograma de la muestra total AAAr21 (ver figura 4.8) 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  $2\theta$  respectivamente.

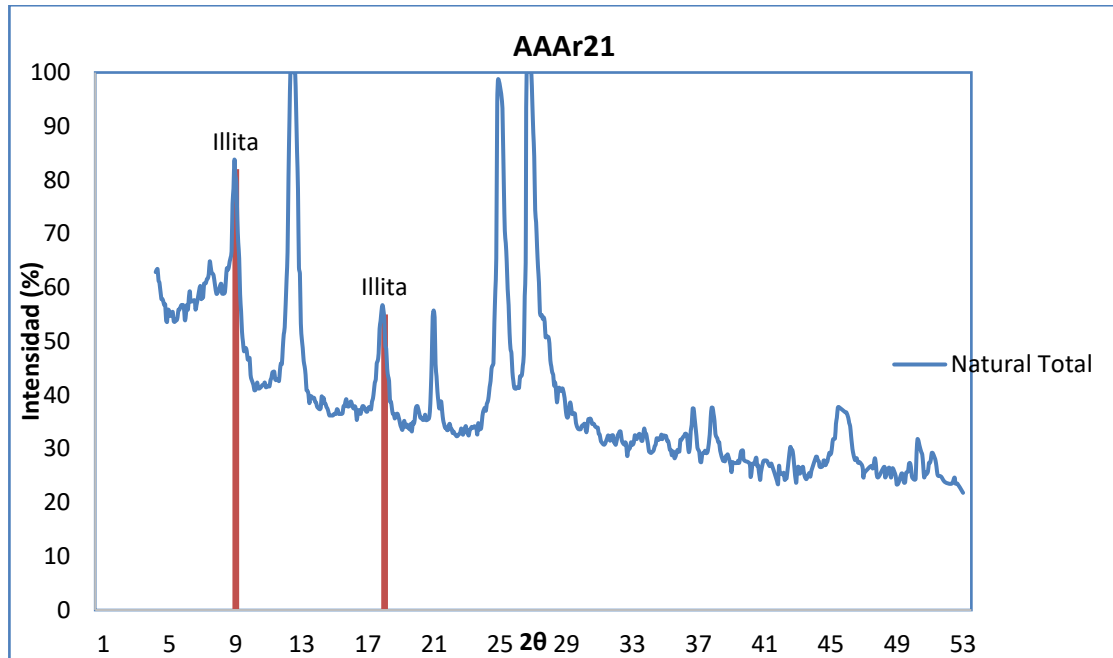


Figura 4.8.- Difractograma de la muestra AAAr21

#### IV.2.1.2.- Caolinita

Se presentó en un total de 17 muestras, siendo el segundo mineral de arcilla más abundante, como se observa en la tabla 4.9

<b>TABLA 4.9: Muestras con la presencia de caolinita en la cuenca de Guárico</b>			
AAAr18	AAAr23	AAAr28	AAAr34
AAAr19	AAAr24	AAAr29	AAAr35
AAAr20	AAAr25	AAAr31	
AAAr21	AAAr26	AAAr32	
AAAr22	AAAr27	AAAr33	

Se aprecia en la figura 4.9 la localización de las muestras con la presencia de caolinita además del mapa geológico de la cuenca con las formaciones sedimentarias correspondientes, que como se observa en la imagen, la distribución de la recolección

de las muestras se realizó a lo largo de la vía de Barbacoas hasta el sur de Camatagua, pasando de la Formación Quebradón a la Formación Roblecito, además de los sedimentos cuaternarios por los afluentes del río Guárico. En la tabla 4.10 se observa las muestras en las formaciones donde fueron recolectadas.

<b>TABLA 4.10: Muestras con presencia de caolinita ubicadas en sus respectivas zonas</b>		
Aluvión	Form. Roblecito	Form. Quebradón
AAAr18	AAAr19	AAAr25
AAAr32	AAAr20	AAAr26
	AAAr21	AAAr27
	AAAr22	AAAr28
	AAAr23	AAAr29
	AAAr24	AAAr31
		AAAr34
		AAAr35

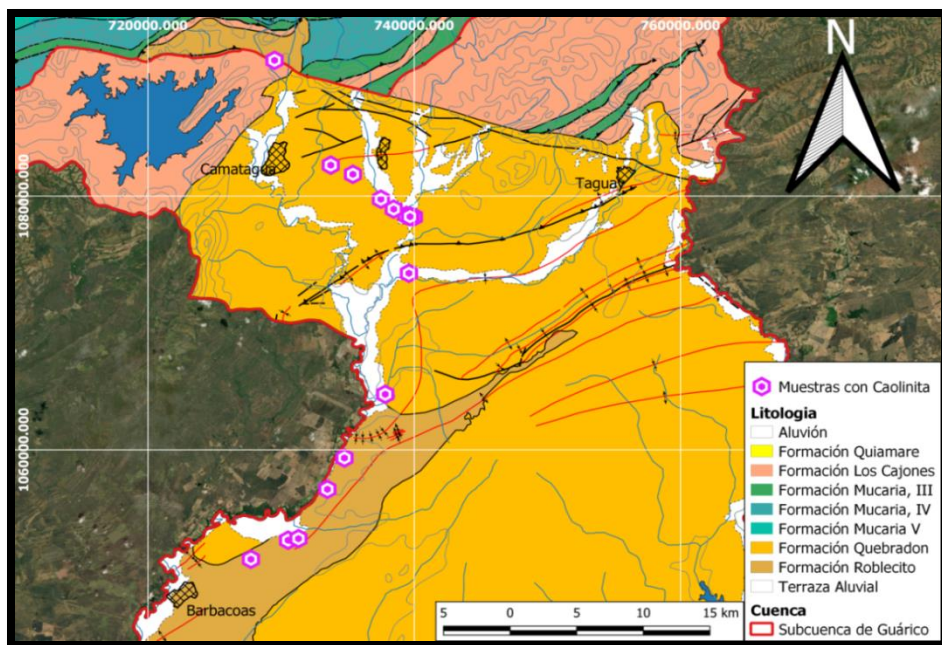


Figura 4.9.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla caolinita.

Lo que respecta a la muestra AAAr33 como se localiza en el límite entre las formaciones Los Cajones y Roblecito, y al no estar cartografiado en su totalidad se interpretó que por medio de su mineralogía obtenida mediante los difractogramas, posee mayor afinidad con la Formación Roblecito ya que las muestras contenidas en esta Formación son similares en cuanto a la mineralogía (ver figura 4.10).

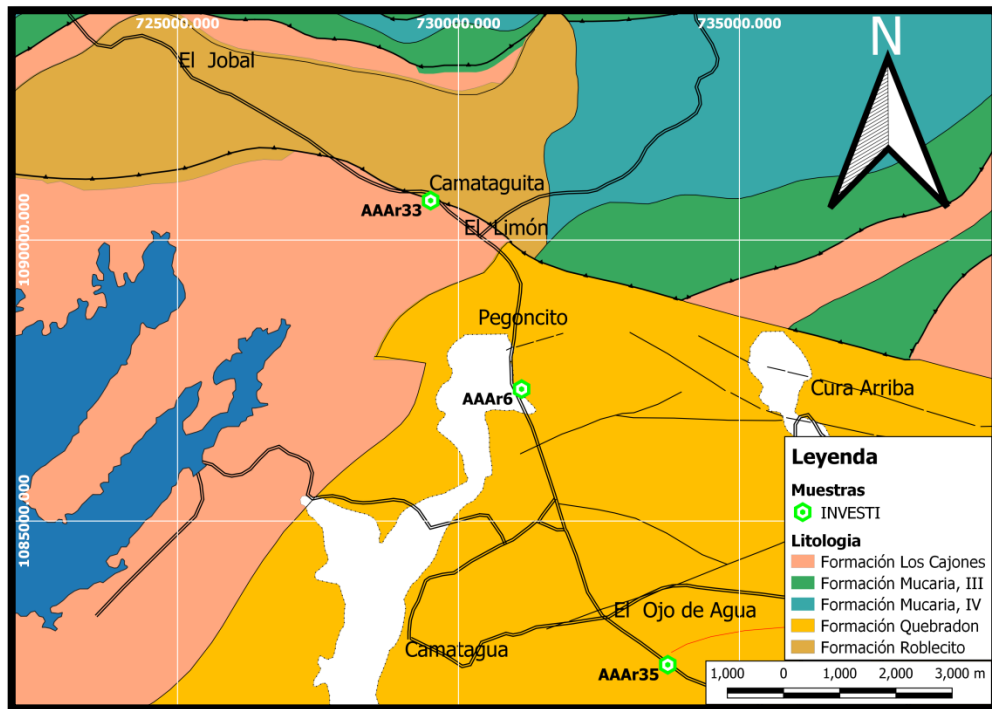


Figura 4.10.- Mapa Geológico con la ubicación de la muestra AAAr33

En el difractograma de la muestra AAAr20 (ver figura 4.11) se identifican los picos de caolinita de primer y segundo orden en los ángulos  $12.4^\circ$  y  $25^\circ$  del eje  $2\theta$  respectivamente (espaciamentos de 7.12 y 3.55 Å) en el ensayo de muestra total.

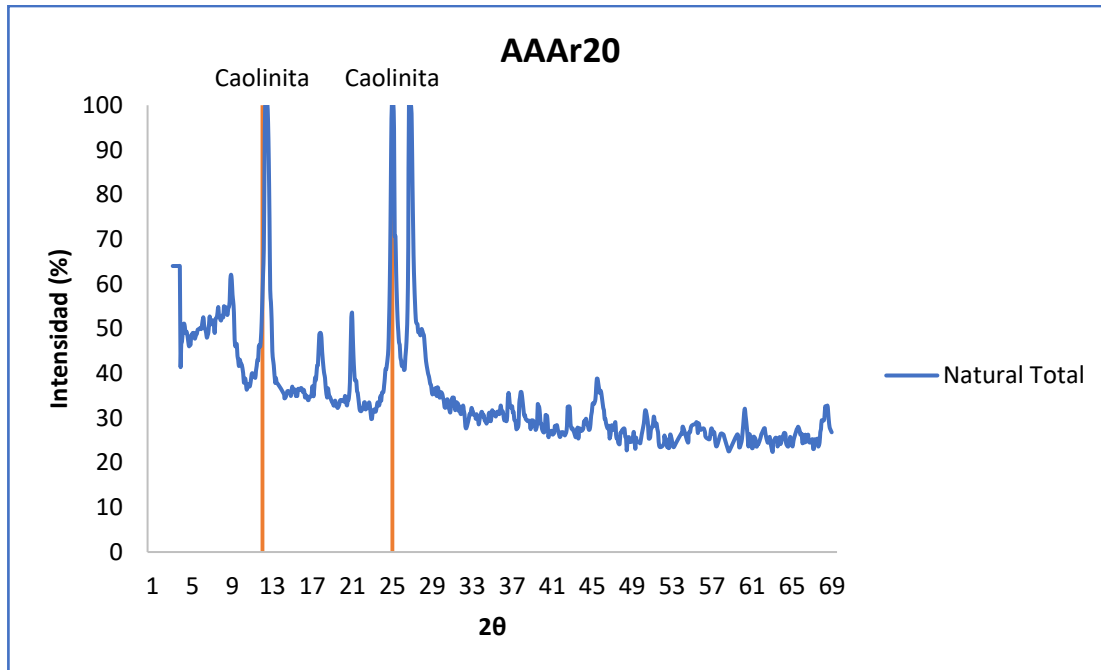


Figura 4.11.- Difractograma de la muestra AAAr20.

#### IV.2.1.3.- Vermiculita

Seguidamente, en cuanto a la abundancia de las arcillas en esta cuenca, se encuentra la vermiculita identificada en un total de dieciséis (16) muestras como se observa en la tabla 4.11 y en la tabla 4.12 se organizaron según el sitio donde fueron recolectadas.

<b>TABLA 4.11: Muestras con la presencia de vermiculita en la cuenca de Guárico</b>			
AAAr4	AAAr20	AAAr25	AAAr29
AAAr5	AAAr21	AAAr26	AAAr31
AAAr6	AAAr22	AAAr27	AAAr34
AAAr19	AAAr23	AAAr28	AAAr35

TABLA 4.12: Muestras con presencia de vermiculita ubicadas en sus respectivas zonas		
Aluvión	Form. Roblecito	Form. Quebradón
AAAr4	AAAr19	AAAr6
AAAr5	AAAr20	AAAr25
	AAAr21	AAAr26
	AAAr22	AAAr27
	AAAr23	AAAr28
		AAAr29
		AAAr31
		AAAr34
		AAAr35

En la figura 4.12 se aprecia el mapa geológico con la localización de las muestras en la cuenca en conjunto con las formaciones sedimentarias pertinentes a cada una de las ellas, donde se logró identificar vermiculita en los difractogramas en muestra total y glicolada.

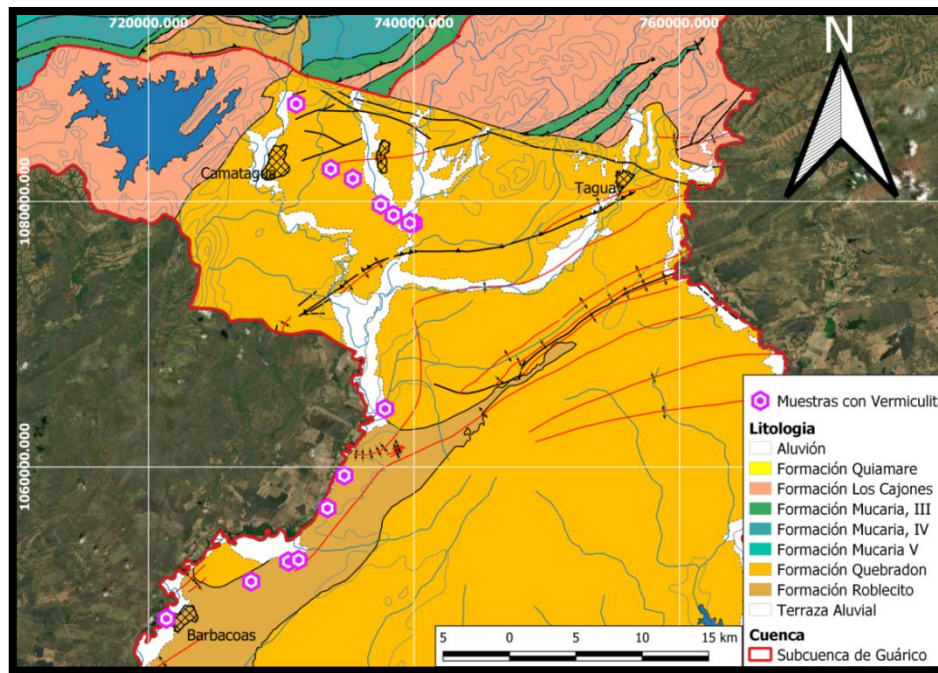


Figura 4.12.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla vermiculita.

En la figura 4.13 se observa el difractograma de la muestra AAAR31 señalando el pico de la vermiculita en ensayo de muestra total y glicolada; este mineral se identifica por el pico 6.2° en el eje 2θ por lo que el valor de espaciamiento es 14.2 Å que se mantiene prácticamente inalterado en el ensayo glicolado.

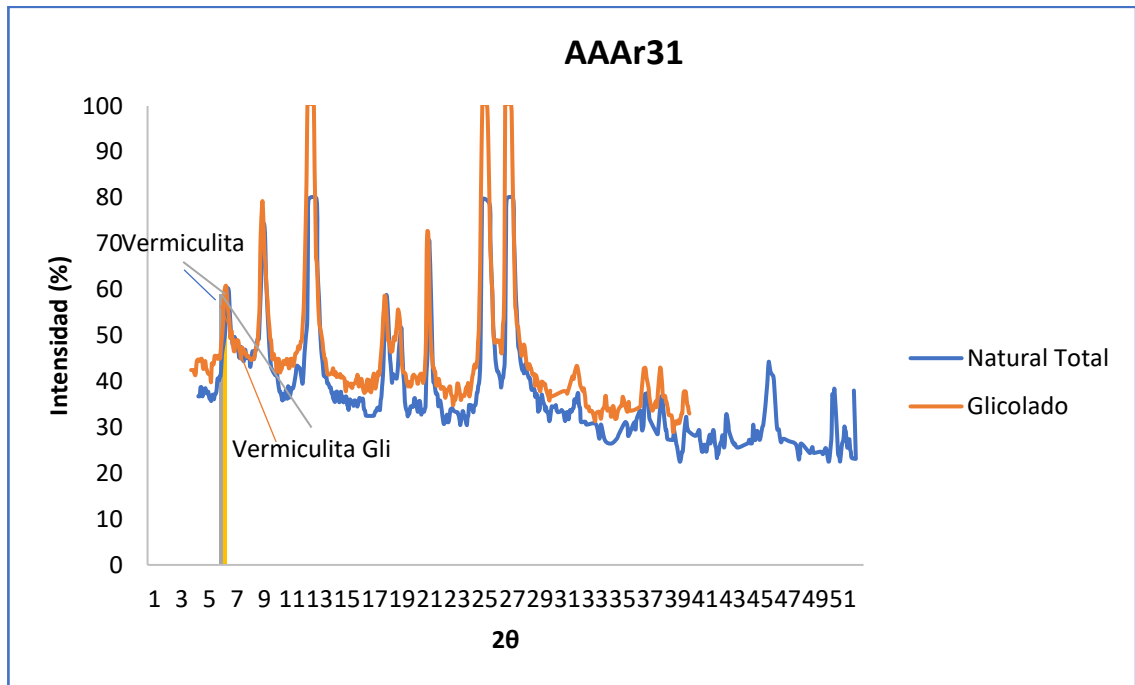


Figura 4.13.- Difractograma de la muestra AAAR31

#### IV.2.1.4.- Clorita

Por último, la clorita es el mineral de arcilla con menor concurrencia que se ubica en la cuenca, ya que se manifestó únicamente en cuatro de las 20 muestras totales (ver tabla 4.13)

<b>TABLA 4.13: Muestras con la presencia de clorita en la cuenca de Guárico</b>
AAAR26
AAAR31
AAAR32
AAAR33

La figura 4.14 ilustra el mapa geológico con las muestras en las cuales se identificó el mineral de clorita, mostrando que las muestras AAAR26 Y AAAR31 pertenecen a la Formación Quebradón, así como la muestra AAAR33 se encuentra en el límite entre las formaciones Los Cajones y Roblecito, que como se mencionó anteriormente, se asignó a la Formación Roblecito, basándose en la afinidad en cuanto a la mineralogía; con respecto a la muestra AAAR32 se ubica en sedimentos aluviales recientes de material no consolidado (ver tabla 4.14).

TABLA 4.14: Muestras con presencia de clorita ubicadas en sus respectivas zonas		
Aluvión	Form. Roblecito	Form. Quebradón
AAAR32	AAAR33	AAAR26
		AAAR31

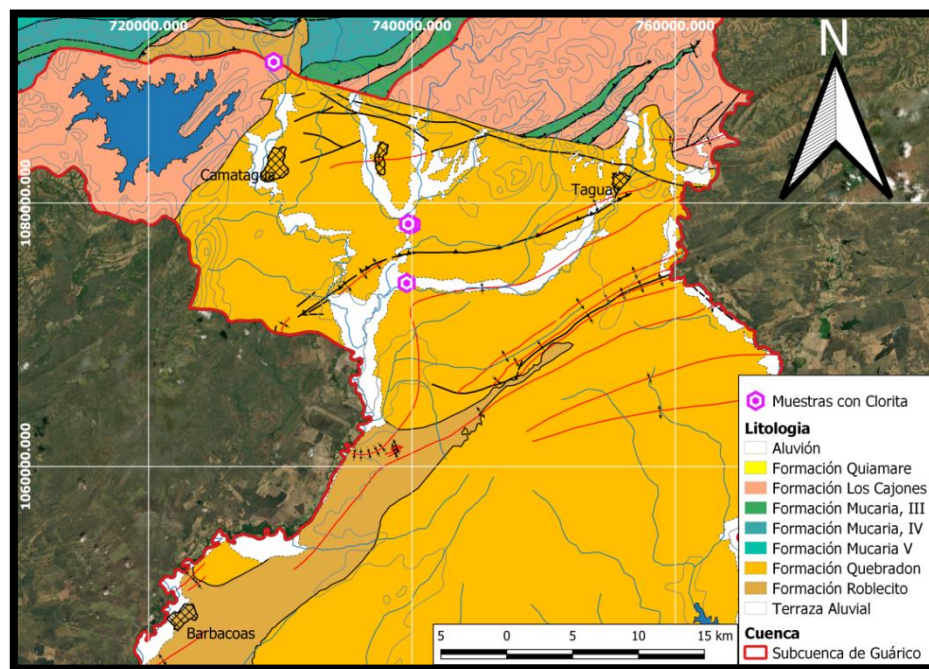


Figura 4.14.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla clorita

Con los difractogramas de muestra total como los glicolados de la muestra AAAR26 (ver figura 4.15) se puede apreciar el pico de la clorita, ya que este se encuentra en un  $2\theta$  de  $6.1^\circ$  por lo que tiene un espaciamiento de  $14.5 \text{ \AA}$ , permitiendo identificarla, sin embargo el mismo se puede confundir con el de la vermiculita, puesto que están en

el mismo rango, por lo que se recomienda realizar el ensayo cocinado a 550°C para determinar si verdaderamente hay clorita en las muestras con este similitud en los difractogramas.

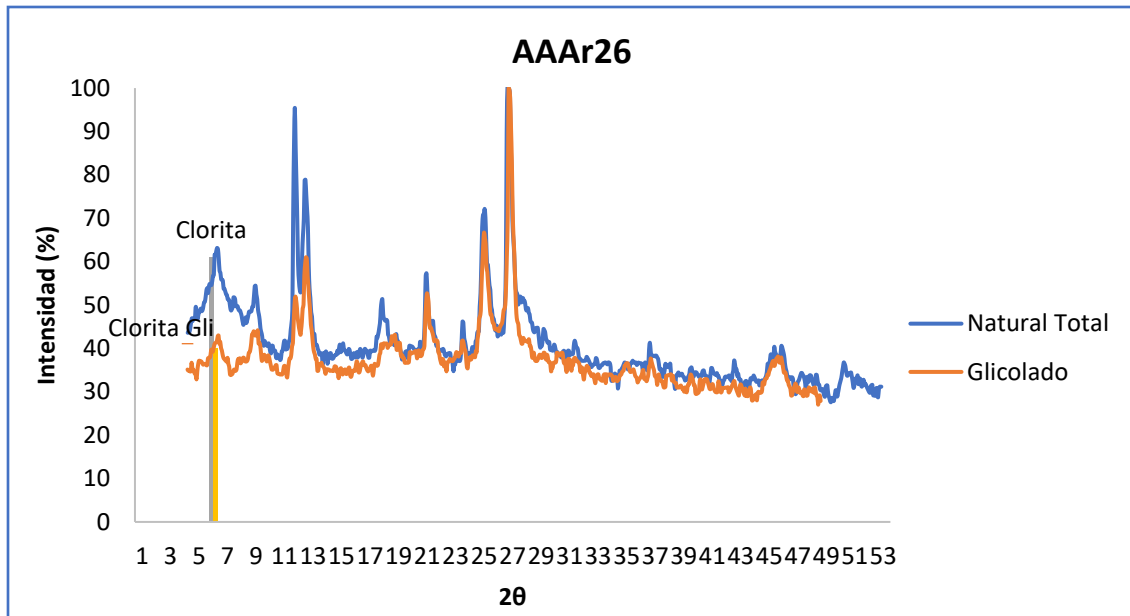


Figura 4.15.- Difractograma de la muestra AAAr31

#### IV.2.2.- Muestras de la cuenca del Lago de Valencia

La cuenca del Lago de Valencia se dividió en tres zonas partiendo del aporte más importante de sedimentos, denominadas: Lago de Valencia, Embalse de Taiguaguay y La Victoria; por lo que se procederá a describir en las tablas 4.15, 4.16 y 4.17, la mineralogía identificada de las muestras por medio de los difractogramas correspondientes, organizándolas conforme a la asociación mencionada anteriormente.

<b>TABLA 4.15: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA SECCIÓN LA VICTORIA EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA</b>	
<b>Muestras</b>	<b>Mineralogía total</b>
AAAr1	cuarzo, illita, calcita, albita, montmorillonita, caolinita
AAAr2	cuarzo, illita, albita, caolinita, calcita, montmorillonita
AAAr7	vermiculita, illita, caolinita, calcita, cuarzo, montmorillonita (poca), feldespato
AAAr8	vermiculita, illita, caolinita, cuarzo, montmorillonita (poca), feldespato
AAAr9	vermiculita, cuarzo, caolinita, illita, feldespato
AAAr10	vermiculita, illita, calcita, feldespato, montmorillonita (poca)
AAAr11	vermiculita, illita, montmorillonita (poca), cuarzo, caolinita, feldespato

<b>TABLA 4.16: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA SECCIÓN LAGO DE VALENCIA EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA</b>	
<b>Muestras</b>	<b>Mineralogía total</b>
AAAr13	illita, caolinita, vermiculita, cuarzo, feldespato
AAAr14	vermiculita, montmorillonita (posible), illita, caolinita, cuarzo, feldespato
AAAr15	vermiculita, illita, caolinita, cuarzo, goethita, feldespato, montmorillonita (posible)
AAAr16	vermiculita, illita, caolinita, feldespato, montmorillonita (posible)

<b>TABLA 4.17: MUESTRAS LOCALIZADAS EN LA SECCIÓN DEL EMBALSE DE TAGUAIGUAY EN LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA</b>	
<b>Muestras</b>	<b>Mineralogía total</b>
AAAr12	illita, caolinita, vermiculita, cuarzo, feldespato
AAAr17	vermiculita, illita, cuarzo, feldespato

Como rasgo característico de rocas sedimentarias, la presencia de cuarzo y feldespato es bastante abundante puesto que se encuentra presente en 11 de las 13 muestras totales de la cuenca del Lago de Valencia, a su vez se detectaron minerales que no entran en la categoría de arcillas como la calcita o la goethita. Los minerales de arcillas se encuentran bastante presentes, en especial la illita, identificada en todas las muestras, seguido de la caolinita, la vermiculita y la montmorillonita sin embargo la presencia de la clorita es nula. En la figura 4.16 se muestra un gráfico de porcentaje de los minerales de arcillas presentes en esta cuenca y en la figura 4.17 se observa el mapa geológico con la distribución de todas las muestras resaltando la división de las zonas mencionadas.

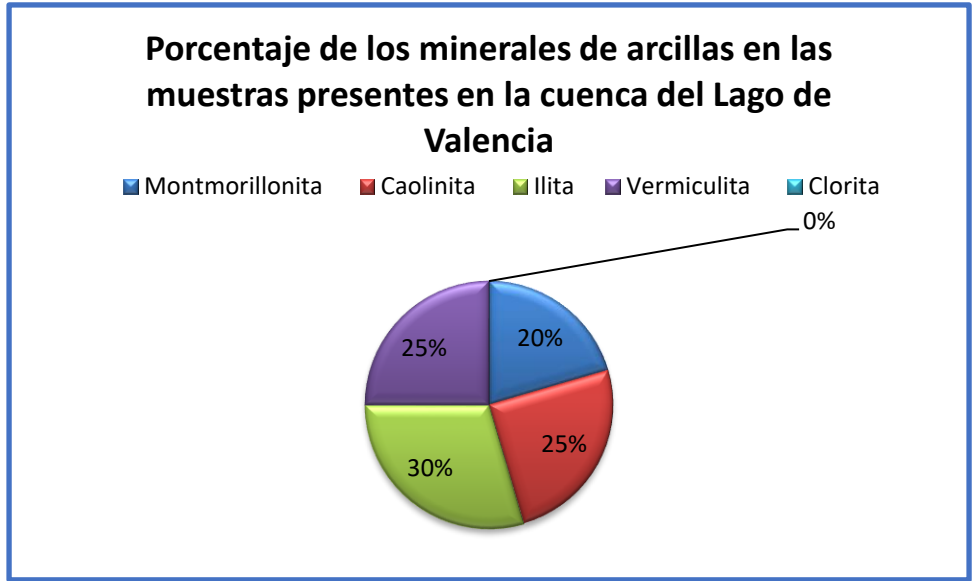


Figura 4.16.- Gráfico de porcentaje de los minerales de arcillas presentes en la cuenca del Lago de Valencia.

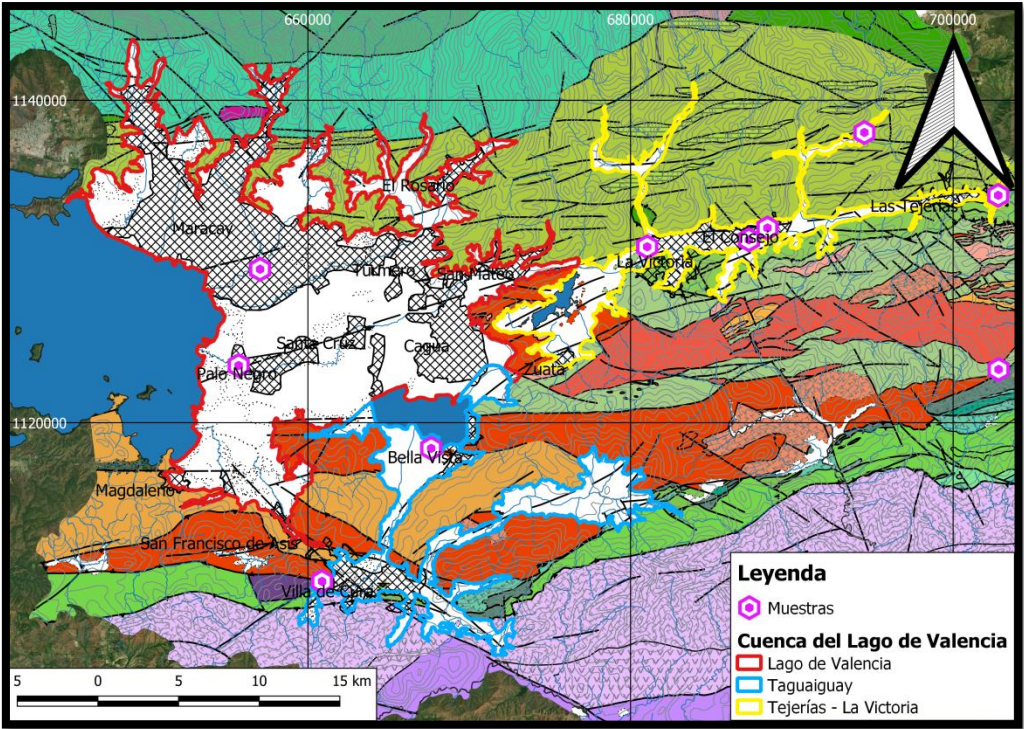


Figura 4.17.-Mapa Geológico de la zona con la distribución de todas las muestras en la cuenca.

A continuación se exponen en orden decreciente los cuatro minerales de arcillas presente en cada una de las secciones de la cuenca del Lago de Valencia.

#### I.V.2.2.1.- Illita en la sección “La Victoria”

Como se mencionó anteriormente, el mineral de arcilla illita, es el más abundante en ya que se encuentra en todas las muestras presentes (ver Tabla 4.18).

<b>TABLA 4.18: Muestras con la presencia de illita en la sección “La Victoria”</b>	
AAAr1	AAAr9
AAAr2	AAAr10
AAAr7	AAAr11
AAAr8	

#### I.V.2.2.2.-Caolinita en la sección “La Victoria”

En la tabla 4.19 se observa las muestras donde se reconoce el mineral de arcilla caolinita, en seis de las siete muestras totales.

<b>TABLA 4.19: Muestras con la presencia de caolinita en la sección “La Victoria”</b>	
AAAr1	AAAr8
AAAr2	AAAr9
AAAr7	AAAr11

#### I.V.2.2.3.- Vermiculita en la sección “La Victoria”

La vermiculita se presentó en las cinco muestras pertenecientes a esta sección (ver tabla 4.20).

<b>TABLA 4.20: Muestras con la presencia de vermiculita en la sección “La Victoria”</b>	
	AAAr7
	AAAr8
	AAAr9
	AAAr10
	AAAr11

#### I.V.2.2.4.- Montmorillonita en la sección “La Victoria”

En la tabla 4.21 se observa las muestras donde se reconoce el mineral de arcilla montmorillonita, en seis de un total de siete muestras

TABLA 4.21: Muestras con la presencia de montmorillonita en la sección “La Victoria”	
AAAr1	AAAr8
AAAr2	AAAr10
AAAr7	AAAr11

En la Figura 4.18 las muestras se encuentran distribuidas a lo largo de los afluentes del Lago, cercanos a la Formación las Mercedes del Cretácico Tardío.

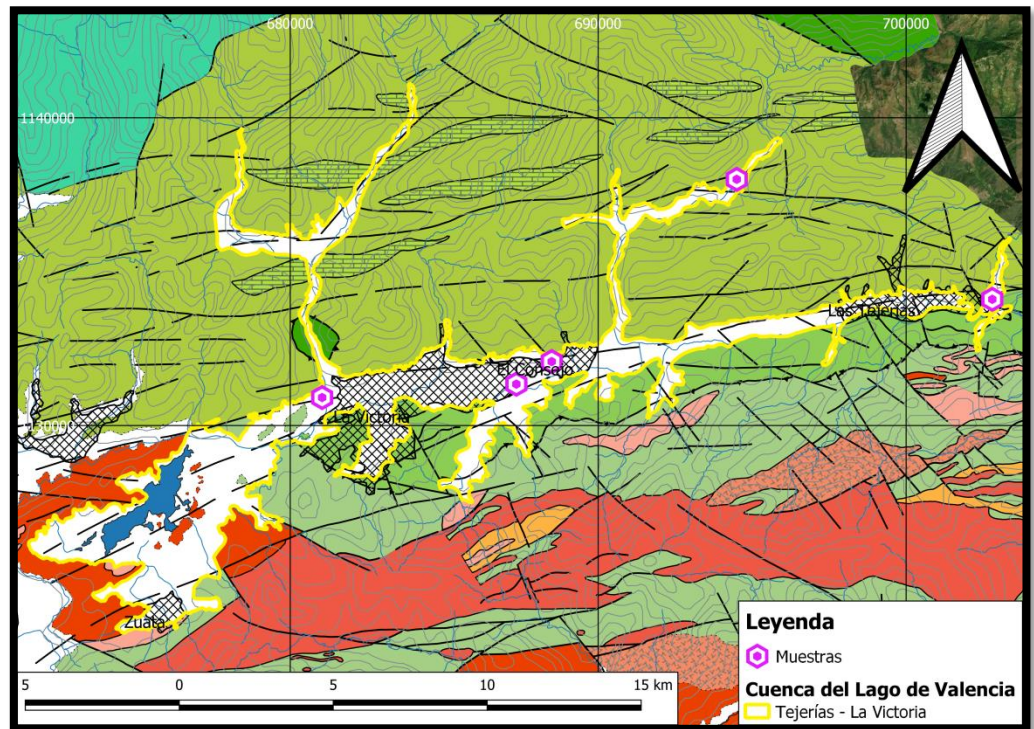


Figura 4.18 Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla illita, caolinita, vermiculita y montmorillonita.

En la figura 4.19 se observa el difractograma de la muestra AAr11 con los picos identificados con cada uno de los minerales de arcillas presentes.

El pico de la vermiculita se encuentra a los  $6,1^\circ$  ( $d = 14,4 \text{ \AA}$ ), al tener muy poco desplazamiento del ensayo glicolado, significa que la expansión en la montmorillonita es poca, por lo que su presencia es escasa. La illita de primer orden se localiza a los  $9^\circ$  ( $d = 9,81 \text{ \AA}$ ) en el eje  $2\theta$  respectivamente, mientras que la caolinita se ubica a los  $12,8^\circ$  con un espaciamiento de  $6,9 \text{ \AA}$ .

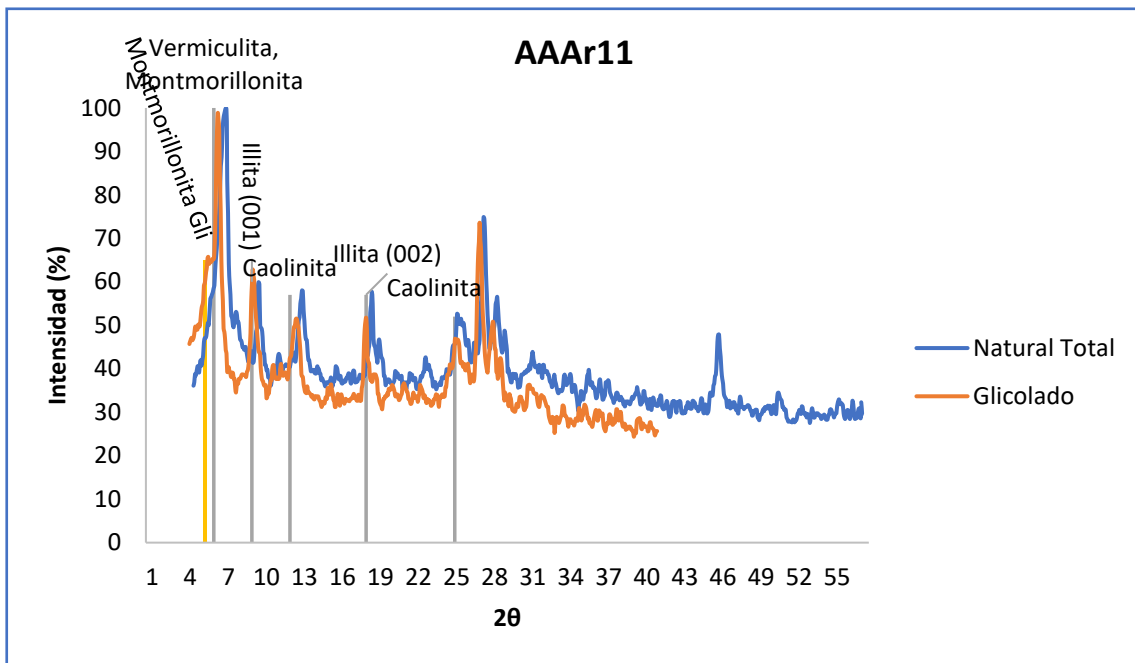


Figura 4.19.- Difractograma de la muestra AAAR11

#### I.V.2.2.5.- Illita en la sección “Lago de Valencia”

Como se mencionó anteriormente, el mineral de arcilla illita, es el más abundante en esta cuenca, puesto que se encuentra en todas las muestras presentes (ver Tabla 4.22).

<b>TABLA 4.22: Muestras con la presencia de illita en la sección “Lago de Valencia”</b>	
	AAAR13
	AAAR14
	AAAR15
	AAAR16

#### I.V.2.2.6.- Caolinita en la sección “Lago de Valencia”

La caolinita se presentó en las cuatro muestras pertenecientes a esta sección (ver tabla 4.23).

<b>TABLA 4.23: Muestras con la presencia de caolinita en la sección “Lago de Valencia”</b>
AAAr13
AAAr14
AAAr15
AAAr16

#### I.V.2.2.7.- Vermiculita en la sección “Lago de Valencia”

Al igual que las muestras anteriores, también se encuentra identificado el mineral de arcilla vermiculita en los cuatro puntos de recolección (ver tabla 4.24).

<b>TABLA 4.24: Muestras con la presencia de vermiculita en la sección “Lago de Valencia”</b>
AAAr13
AAAr14
AAAr15
AAAr16

#### I.V.2.2.8.- Montmorillonita en la sección “Lago de Valencia”

Se presentó posiblemente en tres de las cuatro muestras pertenecientes a esta sección. Se recomienda realizar más ensayos (ver tabla 4.25).

<b>TABLA 4.25: Muestras con la presencia de montmorillonita en la sección “Lago de Valencia”</b>
AAAr14
AAAr15
AAAr16

En la figura 4.20 se ilustra el mapa geológico de la zona donde se localizan las muestras que fueron identificadas con los minerales de arcilla illita, caolinita, vermiculita y montmorillonita, además se aprecia el material no consolidado donde

fueron recogidas dichas muestras que se observan en el medio de esta sección de la cuenca por lo que se puede interpretar que el aporte de minerales que reciben puede venir tanto del norte como del sur, por lo que el mismo puede ser variado en esta zona.

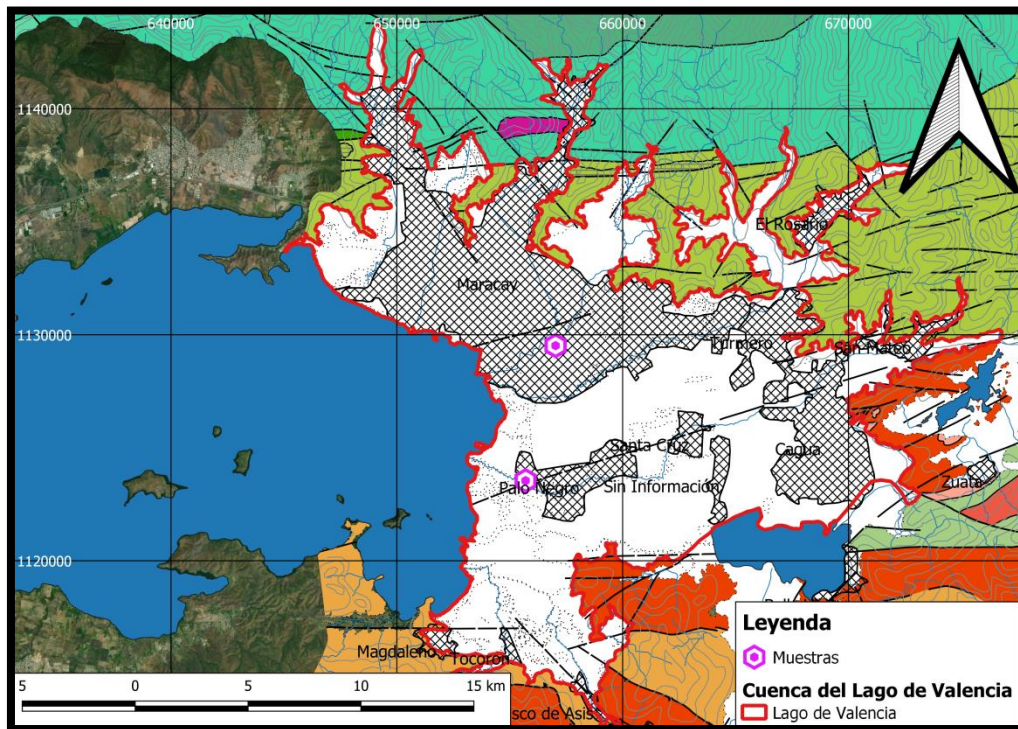


Figura 4.20.- Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla illita, caolinita, vermiculita y montmorillonita.

En el difractograma que se aprecia en la figura 4.21 la muestra AAAR14 con la identificación de los minerales de arcillas presentes en esta sección de la cuenca.

El pico de la vermiculita se encuentra a los  $6,2^\circ$  ( $d = 14,2 \text{ \AA}$ ), el desplazamiento del ensayo glicolado es escaso, prácticamente inalterado determinando poca expansión en la muestra, por lo que la presencia de la montmorillonita es escasa. La illita de primer orden se localiza a los  $8,9^\circ$  ( $d = 9,9 \text{ \AA}$ ) en el eje  $2\theta$  respectivamente, mientras que la caolinita se ubica a los  $12,5^\circ$  con un espaciamento de  $7,07 \text{ \AA}$ .

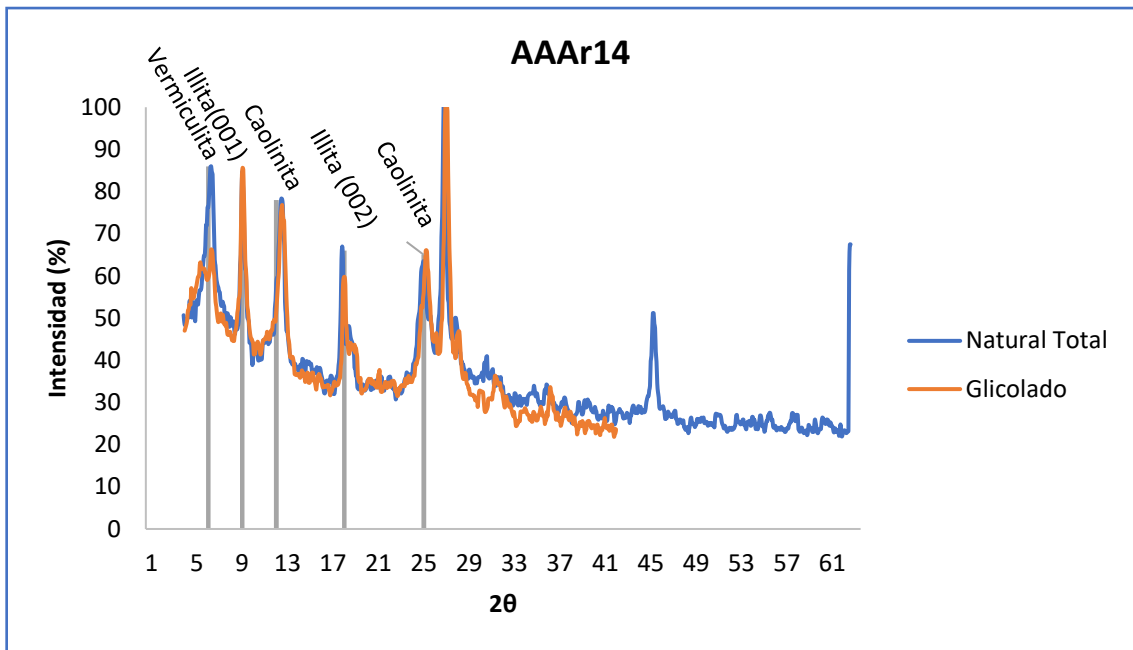


Figura 4.21.- Diagrama de la muestra AAAR14

#### I.V.2.2.9.- Illita en la sección “Embalse de Taiguaiguay”

Al igual que las secciones anteriores, la illita también se encuentra identificada como el mineral de arcilla más abundante (ver tabla 4.26).

TABLA 4.26: Muestras con la presencia de illita en la sección “Embalse de Taiguaiguay”	
	AAAr12
	AAAr17

#### I.V.2.2.10.- Caolinita en la sección “Embalse de Taiguaiguay”

En esta ocasión la caolinita se presentó en una sola muestra de la zona sectorizada (ver tabla 4.27).

TABLA 4.27: Muestras con la presencia de caolinita en la sección “Embalse de Taiguaiguay”	
	AAAr12

#### I.V.2.2.11.- Vermiculita en la sección “Embalse de Taiguaiguay”

En la tabla 4.28 se observa las muestras en donde se distinguió la vermiculita.

<b>TABLA 4.28: Muestras con la presencia de vermiculita en la sección “Embalse de Taiguaiguay”</b>
AAAr12
AAAr17

Dichas muestras, como se puede observar en la figura 4.22, se encuentran cercanas a la unidad Tucutunemo y en el caso de la muestra AAAr12 se encuentran a su vez a la zona cercana del propio Embalse Taiguaiguay.

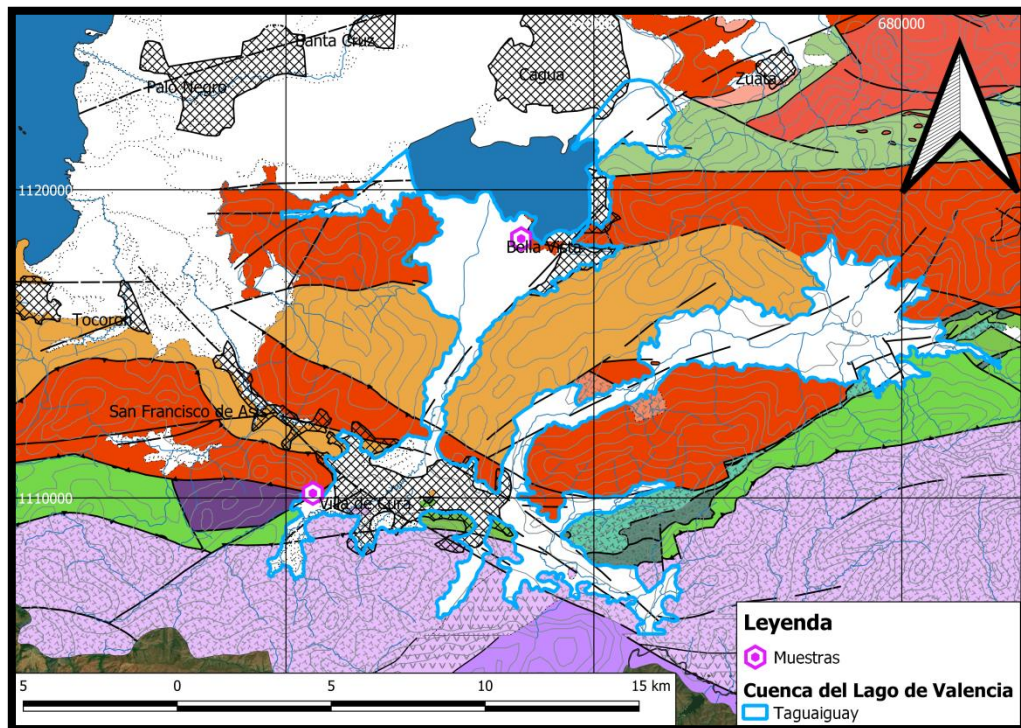


Figura 4.22 Mapa Geológico de la zona con la distribución de las muestras con el mineral de arcilla illita, caolinita y vermiculita.

En la figura 4.23 se observa el difractograma de la muestra AAAr12, donde se aprecian los minerales de arcilla pertinentes a la sección de la cuenca denominada “Embalse de Taiguaiguay”.

Se ubicó la illita del primer orden en el valor de  $8,9^\circ$  ( $d=9,9 \text{ \AA}$ ) en el eje de  $2\theta$ , se realizó el mismo procedimiento con el pico del mineral vermiculita, obteniendo un valor  $2\theta$  de  $6,3^\circ$  obteniendo espaciamiento de  $14,0 \text{ \AA}$ , característico de este mineral, a su vez la caolinita se observa en el valor de  $12,4^\circ$  ( $d=7,1 \text{ \AA}$ ).

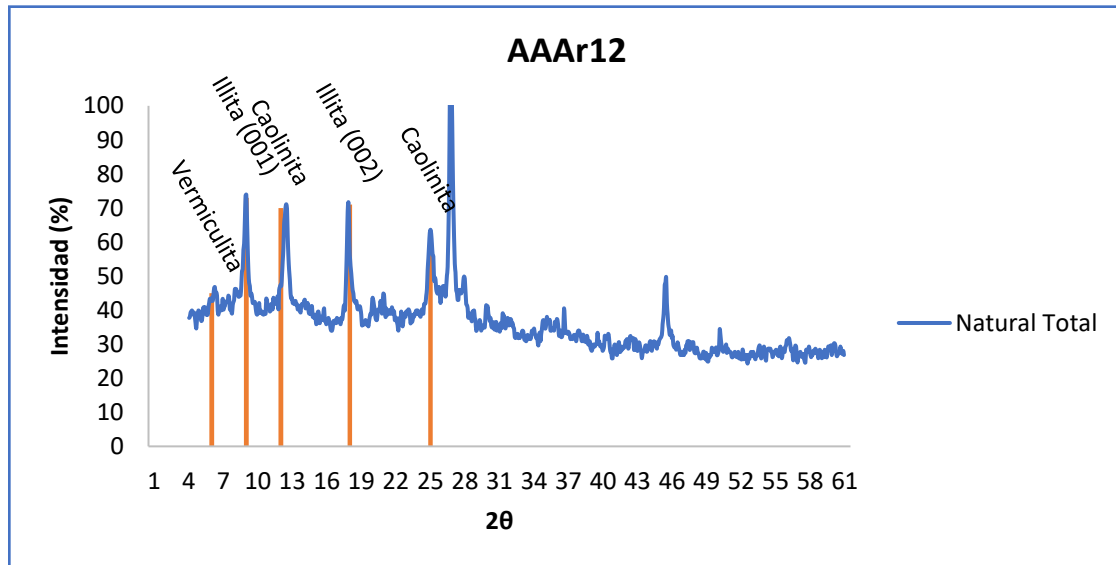


Figura 4.23.- Difractograma de la muestra AAAR12

### I.V.2.3. Muestras AAAR3 y AAAR30 de Loma de Níquel

La muestra AAAR3 se localiza en la Quebrada Guayas, corresponde a la investigación realizada por LARA (2014), mientras que la muestra AAAR30 localizada en Loma de Níquel, pertenece a la investigación realizada por INVESTI, ambas se encuentran hacia el este del estado, limitando con el estado Miranda, perteneciendo a la Unidad de Peridotitas de Loma de Níquel (ver Figura 4.24).

La mineralogía de estas muestras se ilustra en la tabla 4.29

TABLA 4.29: MUESTRAS LOCALIZADAS EN ZONAS CERCANAS A LOMA DE HIERRO	
Muestras	Mineralogía
AAAr3	illita, caolinita, cuarzo, montmorillonita, calcita, albita
AAAr30	Garnierita y muy poco cuarzo.

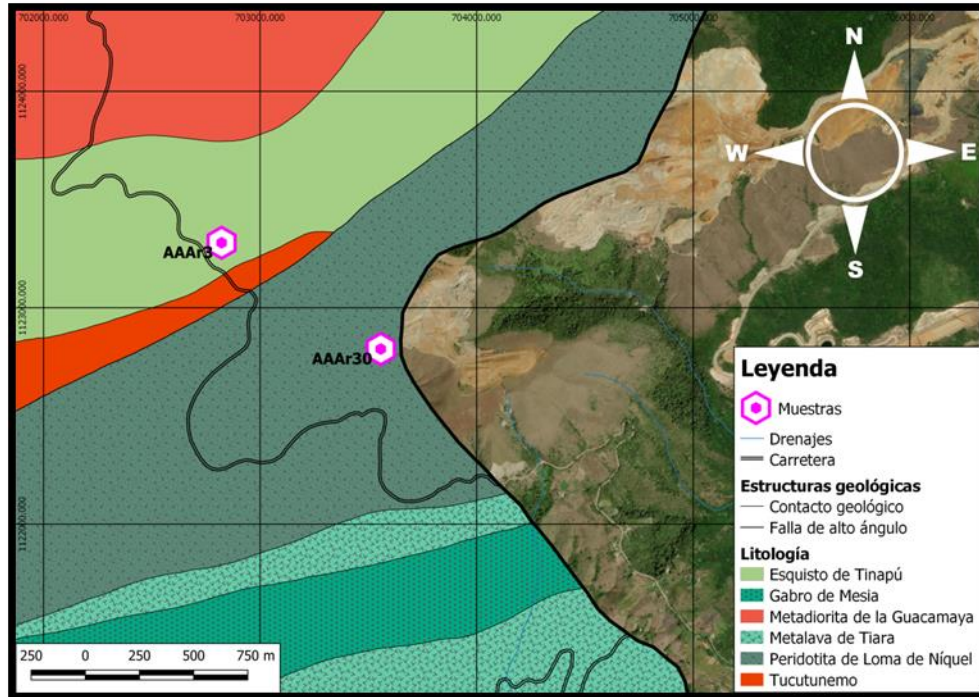


Figura 4.24.- Mapa Geológico con ubicación de las muestras.

La muestra AAr3 se encuentra localizada en el Esquisto de Tinapú del Paleozoico, mientras que la muestra AAr30 se localiza en la unidad de peridotitas de Loma de Níquel del Cretácico Temprano, notándose además que la misma solo presenta el mineral garnierita, del grupo de la serpentina.

En la figura 4.25 se ilustra el difractograma de la muestra AAr3, donde se localizan los minerales de arcilla montmorillonita, illita y caolinita, respectivamente.

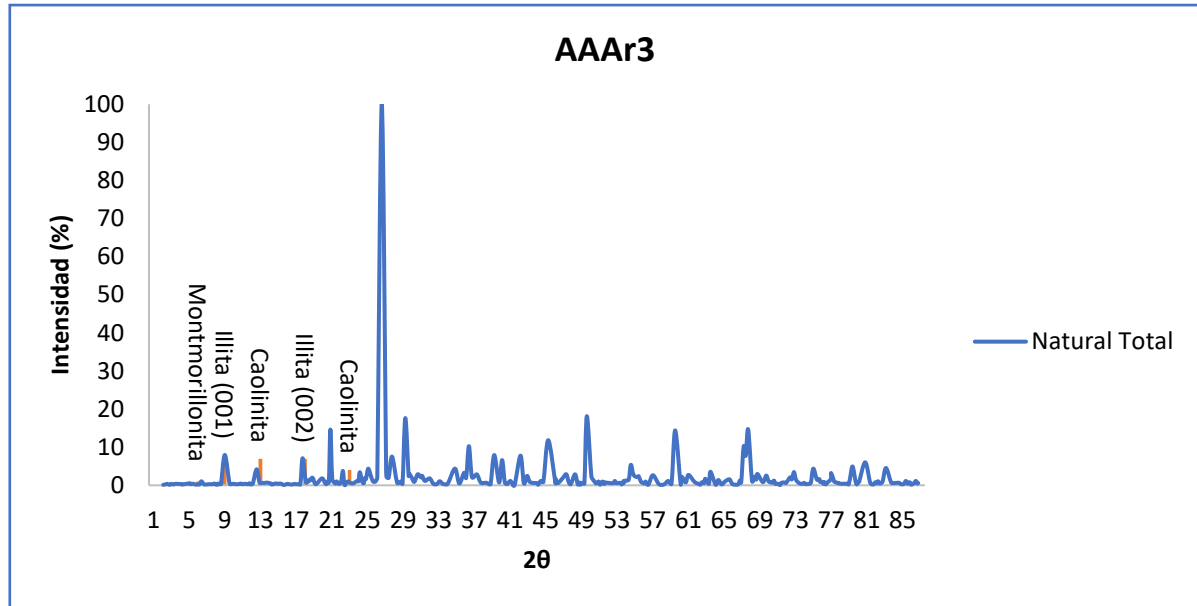


Figura 4.25.- Difractograma de la muestra AAAR3

El pico de la montmorillonita se encuentra a los  $6,3^\circ$  ( $d = 14,40 \text{ \AA}$ ), al tener muy poco desplazamiento del ensayo glicolado, significa que la expansión como presencia de la montmorillonita es escasa. La illita de primer orden se ubica en el eje  $2\theta$  a los  $9^\circ$  ( $d = 9,8 \text{ \AA}$ ), mientras que la caolinita se ubica a los  $12,5^\circ$  con un espaciamento de  $7,0 \text{ \AA}$ .

### IV.3- ÍNDICE DE SRODON

EBERL Y SRODON (1984) definen tres tipos de illita, denominados illita pura, intercalación de capas illita/ esméctica, con abundancia en la illita y combinación de ambas, los cuales se identifican en los difractogramas de rayos X, comparando los ensayos de muestra natural con los ensayos glicolados, puesto que los picos de los mismos varían, al reaccionar las capas de esméctica con el etil glicol, siendo esto la base del “índice de srodon”, también conocido como “ratio de illita”; dichos picos son el 001 con un espacio interplanar entre los  $9.8$  y  $10.1 \text{ \AA}$  y el 003 que posee un espacio interplanar de  $3.2$  hasta los  $3.36 \text{ \AA}$ .

Para determinar expansividad en algún grado, por medio de la intercalación I/S (illita/ esmectita) el índice tendría un resultado mayor a 1.

Es importante tener en cuenta que la illita 003 posee el mismo valor de intensidad que el cuarzo 101, por lo que el pico de los mismos se solapa, por lo que EBERL Y SRODON (1984) definen ciertas condiciones que se observan en el difractograma de muestra glicolada para determinar si la illita presenta expansión; las cuales son:

- 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.

El cuarzo 101 no reacciona con el etil glicol por lo que los cambios que se puedan observar en los ensayos glicolados serán causados por la illita 003, siendo posible determinar si la illita de una muestra de arcilla presenta capas interestratificadas de esmectita expandibles en algún grado.

A continuación, se presentará en las tablas 4.30 y 4.31 el resultado de la expansividad de la illita de cada muestra, así como la presencia de esmectita entre las capas de illita.

<b>TABLA 4.30: EXPANSIVIDAD Y PRESENCIA DE ESMECTITA EN ILLITA</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Expansividad de Illita</b>	<b>Presencia de esmectita</b>
AAAr1	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr2	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr3	No determinado	No determinado
AAAr4	No determinado	No determinado
AAAr5	No determinado	No determinado
AAAr6	No determinado	No determinado
AAAr7	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAAr8	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAAr9	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAAr10	No determinado	No determinado
AAAr11	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAAr12	No determinado	No determinado
AAAr13	Sin tendencia detectable de expansividad	Illita pura
AAAr14	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr15	No determinado	No determinado
AAAr16	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr17	No determinado	No determinado

<b>TABLA 4.31: Continuación de la información de expansividad y presencia de esmectita en illita</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Expansividad de Illita</b>	<b>Presencia de esmectita</b>
AAAr18	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr19	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr20	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr21	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr22	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr23	No determinado	No determinado
AAAr24	No determinado	No determinado
AAAr25	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr26	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr27	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr28	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr29	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr30	No determinado	No determinado
AAAr31	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr32	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr33	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr34	Expansividad en algún grado	Esmectita interestratificada
AAAr35	No determinado	No determinado

# CAPÍTULO V

---

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### V.1- GENERALIDADES

En el presente capítulo se interpreta la información expuesta en el apartado de “resultados”, para de esta manera determinar la génesis de los minerales de arcillas en base a la sectorización de las cuencas sedimentarias y a su vez por medio de las características distintivas de cada especie mineral de arcilla estimar los posibles usos, como también su comportamiento de suelo en el ámbito geotécnico considerando los minerales de arcilla expansivos.

### V.2- ORIGEN DE LOS MINERALES DE ARCILLA

Al interpretar el origen de los minerales de arcilla es importante conocer los aspectos que contribuyen al desarrollo de los distintos tipos de especie mineral identificados en el área de estudio, por lo que es pertinente especificar los procesos que se manifiestan en el momento de generar dichos minerales.

El desarrollo de las arcillas ocurre en la fase final del ciclo geológico de las rocas, con los procesos de erosión y meteorización, que se producen en la roca expuesta en condiciones distintas a las de su origen, ya que es sometida a los agentes exodinámicos, generando sedimentos que son transportados y se depositan en cuencas sedimentarias que seguidamente son soterrados y litificados bajo un proceso diagenético.

AYALA *et al.*, (1986) exponen que los minerales de arcilla constituyen el último eslabón en la cadena de alteración de los minerales silicatados; también explican que los minerales arcillosos pueden producirse según dos tipos de modelos.

1. Suelos residuales por alteración in situ de minerales.
2. Sedimentos por transformación de minerales previos o neoformación a partir de los iones ya existentes en el medio donde fueron transportados.

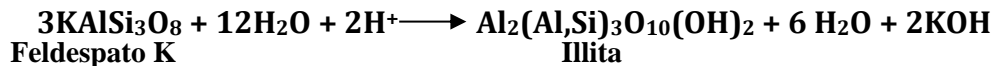
A su vez recalcan que si los suelos residuales sufren un proceso de transporte y se integran con otros materiales, el sedimento final tendrá minerales de arcillas heredados de fuentes diferentes. Definen que otro agente fundamental que actúa alterando los minerales para la formación de los minerales de arcilla es la hidrólisis. LUTGENS Y TARBUCK (2005) también explican que es el proceso principal que origina la descomposición de los silicatos ya que cuando las moléculas de agua se disocian dejan remanentes de iones de hidrógeno (H+) e hidroxilo (OH-) los cuales son sumamente reactivos y al encontrarse en contacto con un mineral, entonces el hidrógeno actúa y sustituye a los iones positivos en la estructura cristalina destruyendo la disposición de la misma.

AYALA *et al.*, (1986) explican que las condiciones iniciales, como lo es, la naturaleza y la composición química de la roca, así como el grado de meteorización, afectarán considerablemente el resultado final del proceso de la formación de los minerales de arcilla.

### V.2.1.- Origen de la Illita

AVGUSTINIK (1983) determina que la illita es el mineral de arcilla considerablemente más abundante, mientras que EBERL Y SRODON (1984) definen que el proceso para la neoformación de la illita es la meteorización de los aluminosilicatos como los feldespatos potásicos, al estar en contacto con el medio, a su vez ALVARADO (1985) señala que el mineral de arcilla illita es el primero que se produce debido a la alteración de la moscovita al hidratarse, perdiendo iones de potasio; mientras

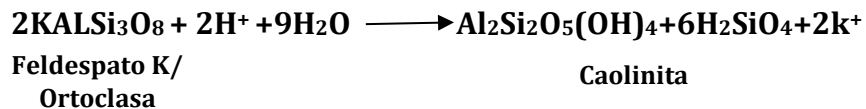
En la siguiente reacción esquemática se ejemplifica el proceso de formación de illita a partir de feldespato potásico:



### V.2.2.- Origen de la Caolinita

DANA (1960) explica que la caolinita proviene de la meteorización de aluminosilicatos enfatizando el feldespato potásico, sin embargo, al igual que con la illita, se puede producir por distintas micas, entre estas la moscovita; además ALVARADO (1985) define a la hidrolisis como el proceso fundamental para la descomposición o meteorización de las rocas, lo cual genera distintos tipos de especie mineral de arcilla, como ocurre con la caolinita. Según AYALA *et al.*, (1986) y LARA (2014) las condiciones del medio en el que están sometidas las rocas para originar este mineral, se caracteriza por una gran energía con drenajes desarrollados, típico de climas tropicales, generando una intensa meteorización química.

LARA (2014) esquematiza la reacción de la hidrolisis descrita por ALVARADO (1985) en la siguiente reacción:



### V.2.3.- Origen de la Vermiculita

DANA (1960) expone que la vermiculita se produce por la alteración de la biotita, su peculiaridad es que el ión potasio (K+) es sustituido por moléculas de agua que al calentarse se evapora y le da al mineral un característico comportamiento de dilatación en forma vermicular, por su parte HERNANDO *et al.*, (2001) señalan que hay estudios que sugieren que la biotita cuando se altera en un medio ácido producirá vermiculita por la incorporación parcial de hidroxilo, a su vez ALVARADO (1985) define que la misma puede generarse por disociar el potasio en la illita.

GISBERT *et al.*, (2011) determinan que es un mineral neoformado a partir de las rocas básicas, aunque también puede aparecer por el intercambio catiónico del ión potasio (K+) por magnesio (Mg+2) en ciertas micas hidratadas; a su vez afirman que la vermiculita puede originarse bajo distintas condiciones de meteorización, variando de

zonas polares hasta tropicales, generándose comúnmente en suelos que han sufrido meteorización química.

Formula de la vermiculita según IMA: **Mg<sub>0.7</sub> (Mg, Fe, Al)<sub>6</sub>(Si, Al)<sub>8</sub> O<sub>20</sub> (OH)<sub>4</sub> · 8H<sub>2</sub>O**

#### V.2.4.- Origen de la Montmorillonita

HENDRICKS Y ROSS (1945) determinan que la formación de la montmorillonita estará ligada a rocas con importante presencia de plagioclasas cálcicas expuestas a meteorización, en un ambiente tropical, como por el ejemplo los anfíboles y piroxenos presentes en rocas ígneas y metamórficas. Sin embargo ALVARADO (1985), señala que la montmorillonita se puede desarrollar por la pérdida consecutiva de potasio en la illita al encontrarse en contacto en un ambiente de meteorización, por su parte BARTON Y KARATHANASIS (2002) definen que la montmorillonita se origina a su vez de otro mineral de la arcilla, como la clorita bajo las mismas condiciones ambientales antes mencionadas.

AYALA *et al.*, (1986) mencionan que las condiciones del ambiente para la meteorización y formación de montmorillonita, es necesaria la presencia de drenajes incipientes y mal desarrollados sobre suelos que puedan ser transportados. Es importante destacar que este tipo de mineral de arcilla se caracteriza por poseer rasgos expansivos.

LARA (2014) plantea la reacción esquemática para la formación de la montmorillonita:



Plagioclasa Ca/  
Anortita

Montmorillonita

#### V.2.5.- Origen de la Clorita

DANA (1960) define que la clorita es un mineral secundario, producto de la alteración de silicatos ferromagnesianos como piroxenos, anfíboles y biotita, a su vez se

encuentra en rocas que han experimentado cambios metamórficos, como también se puede hallar depositada en soluciones hidrotermales, la misma se localiza en los sedimentos como producto de la erosión en el medio donde se encuentra expuesta la roca.

DANA (1960) y AYALA *et al.*, (1986) definen a la clorita como un mineral de neoformación primaria a partir de rocas máficas ricas en minerales con hierro y magnesio.

Formula de la clorita según EHU: **(Mg,Fe,Al,Li,Mn,Ni)<sub>4-6</sub>(Si,Al,B,Fe)<sub>4O10</sub>(OH,O)<sub>8</sub>**

### V.3.- CUENCA DE GUÁRICO

La cuenca de Guárico contiene relleno de sedimentos con edades correspondientes desde el Mesozoico hasta el Mioceno, la cual se encuentra colmatada con rocas que se hallan ya litificadas, siendo las unidades aflorantes más importantes para el estado Aragua y la cuenca en cuestión, la Formación Quebradón de edad Oligoceno Tardío-Mioceno Medio y la Formación Roblecito que se extiende desde el Eoceno Tardío hasta el Mioceno Temprano (GONZÁLEZ DE JUANA *et at.*, 1980).

Hacia el norte de la cuenca se encuentran unidades sedimentarias como las formaciones Los Cajones, Mucaría III, IV y V, Guárico, Garrapata, etc., y aún más hacia el norte se localizan unidades ígneo-metamórficas de la serranía del interior como las unidades Metavolcánicas de las Hermanas.

Estas unidades son las que aportan sedimentos actualmente a la cuenca, ya que la misma pertenece a la cuenca hidrográfica del río Guárico y la mayoría de los drenajes son afluentes que forman parte del mismo y transportan los sedimentos pertenecientes a las formaciones, unidades ígneo-metamórficas y material reciente que se encuentra en el norte y lo recibe la cuenca.

### V.3.1.- Análisis de minerales de arcilla en la Cuenca de Guárico

Se identificaron cuatro de los cinco minerales de arcilla mencionados en capítulo anteriores, mencionándolos según la mayor abundancia, se encuentra primeramente la illita, seguido de la caolinita y la vermiculita; en cambio la presencia de la clorita es poca y la montmorillonita es nula. El aporte de sedimentos, como su naturaleza y procesos de meteorización son variados, por lo que 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.3.1.1.- Illita

Como se mencionó anteriormente la illita es un mineral de arcilla que se genera a partir de aluminosilicatos, especialmente de feldespatos potásicos y micas, como la moscovita. En el caso de esta sección de la cuenca, en donde se encontró illita, en prácticamente la totalidad de las muestras, la explicación más plausible es que se deba a sedimentos meteorizados *in situ* de las formaciones sedimentarias presentes, principalmente la Formación Quebradón, que es la que más área abarca, que según los autores GUILLÉN Y TORIBIO (2006) muestra varios minerales tipo moscovita y feldespatos potásicos e incluso mencionan que las difracciones de rayos X, realizadas por autores anteriores, como BELL (1968) encuentran este mineral en muestras de la Formación Quebradón.

#### V.3.1.2.- Caolinita

Las condiciones para la neoformación de la caolinita, son similares a las de la illita, puesto que es necesaria la presencia de minerales aluminosilicatados, en especial de feldespato potásico y micas, salvo la diferencia de que se necesita mayor meteorización química para poder desarrollarse, por lo que se asocia con la illita generándose por medio de la meteorización de la misma, ya que se localiza en las mismas muestras que poseen illita.

GUILLÉN Y TORIBIO (2006) mencionan que BELL (1968) encontró a través de ensayos de difracción de rayos X en muestras tomadas de la Formación Quebradón minerales de arcilla, destacando la caolinita por lo cual se relaciona con estas muestras.

#### V.3.1.3.- Vermiculita

Como se comentó anteriormente, DANA (1960) se refiere a la vermiculita como producto de la alteración de la biotita que al estar en contacto con condiciones ambientales genera hojas de vermiculita, por su parte ALVARADO (1985) define que la misma puede generarse por disociar el potasio en la illita. Por lo que se interpreta el mismo caso que con la caolinita, puesto este mineral de arcilla se localiza, en la mayoría de las muestras en las que la illita también se encuentra presente, sin embargo, es importante tener en cuenta que como no existen registros de ensayos cocinados, no se pudo diferenciar de la clorita, que GUILLÉN Y TORIBIO (2006) mencionan que la misma se localiza con difracción de rayos X en la Formación Roblecito.

#### V.3.1.4.- Clorita

DANA (1960) explica que al igual que con la vermiculita, la clorita se puede producir por la meteorización de la biotita, de piroxenos, de anfíboles y de material con abundante presencia en aluminio, hierro +2 y magnesio.

Es el mineral menos abundante en esta cuenca; los difractogramas de muestra natural de este mineral, en particular, son similares a los resultados de la vermiculita como de la montmorillonita, para diferenciar estos últimos se realiza un ensayo glicolado, sin embargo con la clorita se requiere de un ensayo de cocción a 550 °C para lograr identificarla, por lo que es posible que existan muestras con este mineral, que se puede confundir con la vermiculita, por la ausencia de dicho ensayo, en consecuencia algunas muestras que posean este mineral de arcilla, realmente podrían tener presencia de clorita, a su vez posiblemente sea resultado de la meteorización *in situ* de la Formación Quebradón, tal como mencionan GUILLÉN Y TORIBIO (2006) los cuales hacen referencia al autor BELL (1968) encuentra clorita en muestras de la Formación Quebradón, a través de difracción de rayos X.

### V.3.2.- Usos de las arcillas

Dependiendo del tipo de mineral de arcilla en conjunto con sus características físicas, químicas y cristalográficas se le establece un tipo de uso, puesto que la finalidad que se les otorga es directamente proporcional a las propiedades mencionadas con anterioridad. A continuación, se explica las distintas utilidades que poseen las arcillas según el tipo de mineral de arcilla:

#### V.3.2.1.- Alfarería

Las arcillas que se utilizan para la fabricación de tejas, ladrillos y todo lo concerniente a la alfarería, BARRETO Y GODOY (2018) explican que deben desarrollarse con material que posea un buen porcentaje de minerales con sílice y aluminio; necesitando entre un 65% a 83% de óxido de silicio y un 9% a 21% de óxido de aluminio, según exponen CASTRO Y RIVERO (2010). La illita y caolinita, son el tipo de mineral de arcilla ideal para la producción de dichos elementos (ver tabla 5.1).

<b>TABLA 5.1: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca de Guárico recomendadas para Alfarería</b>				
AAAr4	AAAr20	AAAr24	AAAr28	AAAr33
AAAr5	AAAr21	AAAr25	AAAr29	AAAr34
AAAr18	AAAr22	AAAr26	AAAr31	AAAr35
AAAr19	AAAr23	AAAr27	AAAr32	

#### V.3.2.2.- Cerámicas

Las arcillas blancas, como la illita y caolinita, son las empleadas para la elaboración de cerámicas y porcelanas, por lo que en la siguiente tabla se presentan las muestras que posean este contenido mineral conveniente para este uso industrial (ver tabla 5.2).

<b>TABLA 5.2: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca de Guárico recomendadas para la fabricación de cerámicas</b>				
AAAr4	AAAr20	AAAr24	AAAr28	AAAr33
AAAr5	AAAr21	AAAr25	AAAr29	AAAr34
AAAr18	AAAr22	AAAr26	AAAr31	AAAr35
AAAr19	AAAr23	AAAr27	AAAr32	

### V.3.2.3.- Caolín

El caolín es un material que se utiliza en varias industrias, destacando la civil, sin embargo, también tiene aplicaciones industriales; el principal componente mineralógico de este material es la caolinita, que se encuentra en un total de 17 muestras en la cuenca Guárico, a lo largo de la vía que conecta a Camatagua con Barbacoas. Estas muestras se presentan en la tabla 5.3.

<b>TABLA 5.3: Muestras con la presencia de caolinita en la cuenca de Guárico</b>			
AAAr18	AAAr23	AAAr28	AAAr34
AAAr19	AAAr24	AAAr29	AAAr35
AAAr20	AAAr25	AAAr31	
AAAr21	AAAr26	AAAr32	
AAAr22	AAAr27	AAAr33	

Es importante resaltar que no se tiene conocimiento de las proporciones de cada mineral de arcilla mencionado por lo que para las recomendaciones de los usos, se requieren análisis cuantitativos, para determinar si las arcillas presentes son útiles para cada área.

## V.4.- CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

La cuenca del Lago de Valencia se dividió en tres zonas, denominadas: Lago de Valencia, Embalse de Taiguaguay y La Victoria. A continuación, se describirán cada una de estas secciones.

### V.4.1.- Lago de Valencia

Esta sección de la cuenca se encuentra representada por material reciente no consolidado, proveniente de la red hidrográfica de la Cordillera de la Costa, la misma recibe sedimentos desde el norte de las unidades de Esquisto Las Mercedes y el Complejo San Julián mientras que desde el sur lo aportan las unidades de Tucutunemo y Complejo Cachinche.

#### V.4.1.1- Análisis de minerales de arcilla en la sección de la cuenca “Lago de Valencia”

Se identificaron cuatro de los cinco minerales de arcilla mencionados en capítulo anteriores, como la illita, seguido de la caolinita y la vermiculita, con poca presencia de la montmorillonita y la clorita es nula. El aporte de sedimentos, como su naturaleza y procesos de meteorización son variados, por lo que 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.4.1.1.1.- Illita

Se identificó illita, en prácticamente la totalidad de las muestras, ya que es un mineral de arcilla que se genera a partir de la meteorización de aluminosilicatos, especialmente de feldspatos potásicos y micas, los cuales se encuentran en las unidades del norte de la cuenca, como la unidad de Esquisto las Mercedes, las cuales son ricas en estos minerales, estos se erosionan y tienden a ser transportados a esta zona de la cuenca.

##### V.4.1.1.2.- Caolinita

Como se mencionó anteriormente, la caolinita y la illita, tienen un origen similar pero las condiciones ambientales, en las cuales se neoforman estos minerales son

diferentes, puesto que la caolinita necesita un grado de meteorización química más avanzado y con mayor pérdida de silicio, por lo que se establece que la misma proviene de sedimentos aluviales con diferente grado de meteorización, incorporado a la cuenca por los diversos drenajes.

#### V.4.1.1.3.- Vermiculita

El Complejo Cachinche posee la presencia de biotita, la cual se asocia con la generación de vermiculita, como lo explica DANA (1960) la misma se forma como producto de la alteración de la biotita que al estar en contacto con el medio, genera hojas de vermiculita y agrega que la estructura está constituida por hojas de mica con interposición de moléculas de agua; este complejo es la principal fuente de aporte de sedimentos ricos en hierro y magnesio, necesarios para neoformar el mineral de arcilla vermiculita; se localiza al sur de la cuenca en la unidad del Complejo Cachinche.

#### V.4.1.1.4.- Montmorillonita

La presencia de este mineral en esta sección de la cuenca, se identifica en tres de las cuatro muestras, sin embargo, en la lectura de los difractogramas de dichas muestras, no se logra identificar con certeza este mineral.

### V.4.2.- La Victoria

El material no consolidado que se localiza en esta sección de la cuenca, proviene del norte por las unidades del Esquito las Mercedes y Esquito las Brisas, mientras que del sur el aporte procede de las unidades Esquito de Tinapú, Esquito de Chuspita y Metadiorita de la Guacamaya, transportado a la misma por medio de los drenajes de la cuenca hidrográfica del Lago de Valencia.

#### V.4.2.1- Análisis de minerales de arcilla en la sección de la cuenca “La Victoria”

Se identificaron cuatro minerales de arcilla con la excepción de la clorita. A continuación se presenta un análisis de cada mineral con el fin de asociar la litología y los procesos de meteorización con el origen de los mismos, ya que el aporte de sedimentos y procesos de meteorización son variados.

##### V.4.2.1.1.- Illita

Se encuentra presente en las siete muestras localizadas en esta sección de la cuenca; al ser un mineral de arcilla neoforado por la meteorización del feldespatos potásico y micas, es bastante común su presencia en esta zona, puesto que las unidades al norte son Esquisto las Mercedes y Esquisto las Brisas, denominadas originalmente como formaciones Las Mercedes y Las Brisas por GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980 siendo la principal fuente de aporte de los minerales necesarios para la formación de la illita los mismos son transportados y depositados en esta área de la cuenca.

##### V.4.2.1.2.- Caolinita

Tanto la presencia de la caolinita como de la illita, indican un gran aporte proveniente de aluminosilicatos que se meteorizan en las unidades circundantes a la cuenca, con la salvedad que la caolinita necesita un nivel más alto de energía para su neoformación, como un mayor grado de meteorización química e incluso puede ser producto de una etapa más avanzada de meteorización en la illita por pérdida de silicio.

LARA (2014) explica que tanto la illita como la caolinita, pudieron formarse por la meteorización de feldespatos (principalmente potásicos) presentes en el Esquisto de Las Brisas y el Esquisto de Las Mercedes; a su vez menciona que ambos minerales necesitan condiciones distintas para su generación, por lo que encontrarlas en el mismo punto de muestreo puede ser atribuido principalmente a una posible mezcla de los sedimentos con distintos grados de meteorización.

#### V.4.2.1.3.- Vermiculita

Este mineral se neoforma por biotitas que se encuentran alrededor de la cuenca como el Esquito las Mercedes, originalmente denominado Formación Las Mercedes por GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980, el cual presenta concentraciones de este mineral que al meteorizarse pierde hierro (Fe) y Magnesio (Mg), siendo sustituido por agua en su estructura, formando a la vermiculita.

#### V.4.2.1.4.- Montmorillonita

La montmorillonita por su parte se presenta en seis de las siete muestras identificadas en esta sección de la cuenca, sin embargo en cuatro su presencia es escasa, por la ausencia de unidades ricas en minerales máficos; por lo que se puede originar, por unidades como Gabro de Mesa, las Peridotitas de Loma de Níquel o el Complejo de San Julián, que se localizan en zonas alejadas de la cuenca, estas unidades se meteorizan y son transportadas por todo el sistema de drenajes de la cuenca del Lago de Valencia, siendo una posible causa para la escasez de este mineral.

A su vez LARA (2014) señala que la montmorillonita pudo haberse formado por la meteorización química que pudieron experimentar algunos de los minerales (aluminosilicatos cálcicos) presentes en las rocas de las unidades de Esquisto de Las Mercedes y de Las Brisas, con condiciones muy similares a las de la illita, exceptuando el hecho de que esta no necesita un medio con elevadas concentraciones de potasio.

#### V.4.3.- Embalse de Taiguaiguay

Esta sección de la cuenca está representada por material reciente no consolidado que proviene de las unidades circundantes como el Complejo Cachinche, Tucutunemo, la Metatoba de El Chino y la Filita de Paracotos, siendo transportado a la misma por medio de los drenajes de la cuenca hidrográfica del Lago de Valencia.

#### V.4.3.1- Análisis de minerales de arcilla en la sección de la cuenca “Embalse de Taiguaiguay”

Se identificaron únicamente los minerales de arcilla de illita, caolinita y vermiculita, en esta sección de la cuenca; a continuación, se expone un análisis de cada mineral con la finalidad de relacionar la litología con los procesos de meteorización ya que el aporte de sedimentos es variado y así poder interpretar la génesis de los mismos.

##### V.4.3.1.1.- Illita

Se encuentra presente en todas las muestras localizadas en este sector de la cuenca y es un mineral de arcilla que se genera por la meteorización de minerales ricos en aluminosilicatos, especialmente el feldespato potásico y micas, es bastante común su presencia en esta zona, puesto que al norte se encuentra limitando con la sección de la cuenca denominada “Lago de Valencia” permitiendo mezclarse con el material no consolidado de esa zona, mientras hacia el sur se localizan las unidades de Tucutunemo, el Complejo Cachinche, entre otros, siendo la fuente de aporte de sedimentos que son transportados por medio de los drenajes produciendo meteorización química, para posteriormente depositar este material en la cuenca, permitiendo la formación de la illita.

##### V.4.3.1.2.- Caolinita

La caolinita al igual que la illita, se generan a partir de aportes significativos de aluminosilicatos, los cuales se meteorizan en las unidades circundantes a la cuenca, como se explicó anteriormente con la illita y por medio de los drenajes se produce la hidrólisis por meteorización química, posibilitando los procesos dinámicos de generación y transporte de sedimentos, que para el caso de la caolinita es necesario un alto grado de energía en estos procesos.

#### V.4.3.1.3.- Vermiculita

El Complejo Cachinche contiene concentraciones de biotitas, la cual está relacionada con la formación de la vermiculita, al alterarse, ya que al meteorizarse pierde hierro (Fe) y Magnesio (Mg), siendo sustituido por agua en su estructura, permitiendo la formación de la vermiculita, por lo que es importante resaltar que este complejo es la principal fuente de aporte, por su contenido de material ferromagnésico (MAMBIE,2017).

#### V.4.4.- Usos de las arcillas

A continuación se expondrán los diversos usos pertenecientes al grupo de los minerales de arcilla, sin embargo dependiendo de las propiedades físicas, químicas y cristalográficas de cada mineral se define su tipo de utilidad industrial. Las muestras en esta cuenca presentan concentraciones muy ricas de illita y caolinita, por lo que el mejor uso que se le puede otorgar es en el área de cerámica, porcelana y alfarería, como también se encuentra la presencia de montmorillonita es recomendable el uso de lodo bentonítico.

##### V.4.4.1.- Alfarería

BARRETO Y GODOY (2018) señalan que los minerales de arcilla, recomendables para la elaboración de productos de alfarería, como tejas, ladrillos, etc., necesitan altas concentraciones de aluminosilicatos por lo que las muestras con presencia de illita y caolinita son las idóneas para esta finalidad (ver tabla 5.4).

<b>Tabla 5.4: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca "Lago de Valencia" recomendadas para el uso de Alfarería</b>	
AAAr1	AAAr12
AAAr2	AAAr13
AAAr7	AAAr14
AAAr8	AAAr15
AAAr9	AAAr16
AAAr10	AAAr17
AAAr11	

#### V.4.4.2.- Cerámicas

RODRÍGUEZ (1986) menciona que las arcillas blancas poseen como minerales en común a la illita y caolinita, las cuales se encuentran en la mayoría de las muestras presentes en la cuenca del “Lago de Valencia” y disponen de características mineralógicas apropiadas para la elaboración de cerámicas y porcelanas (ver tabla 5.5).

<b>Tabla 5.5: Muestras con la presencia de illita y caolinita en la cuenca “Lago de Valencia” recomendadas para el uso de Cerámicas</b>	
AAAr1	AAAr12
AAAr2	AAAr13
AAAr7	AAAr14
AAAr8	AAAr15
AAAr9	AAAr16
AAAr10	AAAr17
AAAr11	

#### V.4.4.3.- Caolín

El caolín se utiliza en diversas áreas de las industrias, como en obras civiles, sin embargo, también tiene aplicaciones industriales; como su nombre lo indica, el componente mineralógico fundamental para este material, es la caolinita, que se encuentra en 11 de 13 muestras en total pertenecientes a la cuenca del Lago de Valencia (ver tabla 5.6).

<b>Tabla 5.6: Muestras con la presencia de caolinita en la cuenca “Lago de Valencia” recomendadas para Caolín</b>	
AAAr1	AAAr12
AAAr2	AAAr13
AAAr7	AAAr14
AAAr8	AAAr15
AAAr9	AAAr16
AAAr11	

#### V.4.4.3.- Lodo Bentonítico

SCREMÍN (2019) menciona que la bentonita es el principal mineral para la generación de lodo bentonítico, siendo el término otorgado a las concentraciones comercialmente explotables de montmorillonita, por su capacidad de absorber y contener el agua; se utiliza en las perforaciones para evitar derrumbes en los pozos.

Las muestras que presentan montmorillonita en esta cuenca se encuentran principalmente en el sector “La Victoria” donde LARA (2014) menciona que este mineral neoforado se generó por la meteorización química de algunos aluminosilicatos, principalmente cálcicos presentes en las rocas de tipo esquistos cloríticos y horblendicos. Sin embargo, las proporciones de este mineral no son las apropiadas para la fabricación de este material, así como también la presencia de minerales inertes (no expansivos) que impiden la absorción de agua requerida (ver tabla 5.7).

<b>Tabla 5.7: Muestras con la presencia de montmorillonita en la cuenca “Lago de Valencia” recomendadas para Lodo Bentónico</b>	
AAAr1	AAAr11
AAAr2	AAAr14
AAAr7	AAAr15
AAAr8	AAAr16
AAAr10	

#### V.4.5.- Consideraciones sobre las arcillas expansivas

La montmorillonita se localiza principalmente en el sector “La Victoria” en la cuenca del “Lago de Valencia” sin embargo la concentración de este mineral es escaso por lo que no hay información sobre el grado de expansibilidad de las arcillas; no obstante, por la presencia de la montmorillonita, que se caracteriza por su capacidad de absorción del agua, ocasionando a su vez la expansibilidad de los suelos, lo cual afecta significativamente las propiedades del mismo. Es importante tener presente estas consideraciones al momento de tomar decisiones de proyectos de carácter civil.

## V.5.- MUESTRAS AAAR3 Y AAAR30

Ambas muestras se encuentran retiradas de las cuencas ya descritas, localizándose en las cercanías de Loma de Hierro.

La muestra AAAR3 presenta illita, caolinita y montmorillonita. La neoformación de la illita y caolinita se produce por la meteorización química de aluminosilicatos como feldespatos potásicos y micas, mientras que para formar montmorillonita se necesita la presencia de iones de hierro y magnesio. La unidad metamórfica del Esquisto de Tinapú, es donde se extrajo la muestra AAAR3, el cual como lo describen SHAGAM Y HESS (1960) es un esquisto cuarzo-albitico-moscovítico, de tal manera presenta minerales ricos en aluminio como la moscovita y la albita, los cuales al meteorizarse, generan a la illita y la caolinita, con la salvedad que la caolinita necesita mayor meteorización química para su neoformación; en el caso de la montmorillonita, seguramente sea rica en sodio por la presencia de la albita.

La existencia de todos estos minerales juntos, señala una mezcla de sedimentos con diferentes grados de meteorización como posible producto del transporte, a esta zona, a través de los drenajes.

Con respecto a la muestra AAAR30 presenta Garnierita producto de la meteorización de la Peridotita de Loma de Níquel, la cual es conocida ya que actualmente es explotada al ser yacimiento de este elemento.

<b>TABLA 5.8: Resumen de los usos de las muestras con su respectiva ubicación</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Uso</b>
AAAr1	El Conde	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr2	Tejerías	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr3	Loma de Hierro	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr4	Barbacoas	No aplica
AAAr5	Barbacoas	No aplica
AAAr6	Camatagua	No aplica
AAAr7	El Consejo	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr8	El Consejo	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr9	La Victoria	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr10	El Consejo	No aplica
AAAr11	El Consejo	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr12	Laguna de Taiguaguay	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr13	Palo Negro	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr14	Maracay	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr15	Maracay	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr16	Maracay	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr17	Villa de Cura	No aplica
AAAr18	Paso de Cura	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr19	Norte de Barbacoas	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr20	Norte de Barbacoas	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr21	Norte de Barbacoas	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr22	Norte de Barbacoas	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr23	Norte de Barbacoas	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr24	Norte de Barbacoas	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr25	Norte de Barbacoas	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr26	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr27	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr28	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr29	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr30	Loma de Hierro	No aplica
AAAr31	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr32	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr33	Norte de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr34	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín
AAAr35	Sur de Camatagua	Cerámicas, Alfarería y Caolín

# CAPÍTULO VI

---

## SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo consistió en la recopilación bibliográfica de toda la información correspondiente a los minerales de arcilla que se localizan en el estado Aragua, permitiendo de esta manera, analizar diversos estudios que en su contenido presentaban ensayos de difracción de rayos X, de muestra total, fracción menor a dos micras y ensayos glicolados, realizados a muestras de arcillas recolectadas en diversas zonas del estado, con la finalidad de caracterizar las especies minerales de arcilla, comprendiendo un registro de treinta y cinco (35) muestras en total, distribuidas al sur del estado, en la cuenca de Guárico y en el área norcentral, en la cuenca del Lago de Valencia. De los análisis obtenidos se deducen las siguientes conclusiones:

- Tanto la illita como la caolinita, son las especies de mineral de arcilla más abundante en las zonas estudiadas lo que permite interpretar que las mismas son las que se encuentran más extendidas en el estado Aragua.
- Las muestras con presencia de illita en su mayoría son interestratificados con la presencia de illita/esmectita
- Se identificaron los minerales de arcilla vermiculita y clorita, sin embargo, para lograr diferenciarlas es necesario el ensayo de cocción a 550°C; a su vez se identificó la presencia de la montmorillonita interpretándose que estos suelos pueden mostrarse más susceptibles a ser vulnerables por la expansibilidad de estas arcillas.

Las muestras obtenidas se ilustraron en una compilación de mapas recuperados de diversos trabajos de grado donde se aprovechó la base topográfica y geológica del estado, facilitando el análisis de la relación litológica de los diferentes cuerpos geológicos presentes, en conjunto con los agentes exodinámicos permitiendo la meteorización y transporte de los sedimentos por medio de drenajes, permitiendo

determinar la génesis de las distintas especies minerales identificadas, por lo que se concluyó:

- Las unidades geológicas presentes tanto en la zona de estudio como en sus alrededores, propiciaron el origen de los minerales de arcillas, puesto que el contenido mineral de los mismos abarca las concentraciones necesarias de aluminosilicatos, feldespatos y plagioclasas que al meteorizarse permiten el desarrollo de las distintas especies de minerales de arcilla.
- Los drenajes aportan la función fundamental de distribuir y de facilitar los procesos de hidrólisis y desilificación, dependiendo de su capacidad de desarrollo.
- La presencia de los minerales de arcillas, illita y caolinita en las mismas muestras recolectadas, indican que el material depositado en las cuencas son una mezcla de sedimentos con diversos grados de meteorización, puesto que las condiciones de neoformación de estos minerales, son diferentes, por lo que se interpreta que los sedimentos depositados en las cuencas son producto de la meteorización *in situ* de minerales que posteriormente fueron transportados por los drenajes junto con otros minerales de arcilla generando una unión de sedimentos que finalmente desembocan en las cuencas.
- El característico clima tropical del estado Aragua facilita los procesos de meteorización de las rocas expuestas, sin embargo no es un proceso uniforme, por lo que la neoformación de los minerales de arcilla ocurren en diversas condiciones ambientales, siendo a su vez motivo de la mezcla de especies minerales en el estado.

Al tener los minerales de arcilla caracterizados y ubicados respectivamente, se prosiguió en determinar las posibles utilidades tomando como base únicamente la mineralogía presente en las muestras, de lo que se dedujo:

- Las muestras con la presencia de illita y caolinita que poseen un alto contenido de aluminosilicatos son de provechosa aplicación en el área de la alfarería para la elaboración de ladrillos, baldosas, tejas, entre otros para el caso de la caolinita, no obstante, la illita como materia prima, es excelente para la elaboración de cerámicas, porcelanas, esmaltes, etc.

- La montmorillonita se utiliza para la mezcla y generación de lodo bentonítico por medio de la bentonita, que es el término establecido para las concentraciones comercialmente explotables de montmorillonita. El lodo bentonítico es empleado en las perforaciones por su capacidad de absorción de agua, sin embargo las proporciones de este mineral en las muestras adquiridas no son las apropiadas para la fabricación de este material así como también la presencia de minerales inertes impiden la absorción de agua requerida, sin embargo en Cojedes, cerca de las Tetras de Tinaquillo, se encuentra la Peridotita de Tinaquillo, donde existen depósitos de bentonita, extrapolando este caso, en Aragua se localiza la Peridotita de Loma de Níquel, por lo que se recomienda realizar un estudio cuantitativo de la mineralogía en la zona para de esta manera determinar áreas con acumulaciones altas de montmorillonita y clasificar un posible yacimiento de bentonita.
- Por la presencia de la alta concentración de la caolinita en las muestras distribuidas por el estado, se menciona su potencial como materia prima para el caolín, empleado para la fabricación del papel, cerámicas, pinturas, barnices, pesticidas, etc.

Finalmente se realizó una base de datos con toda la información resumida, utilizando el software Microsoft© Excel, creando una interfaz interactiva de tipo *dashboard*, para consultas sencillas de manejar ya que mediante las herramientas del programa se realizó un apartado de filtros para la optimización de las búsquedas y a su vez, que las mismas sean dinámicas.

Al concentrar la información pertinente a las arcillas en un mismo sitio facilita las investigaciones tanto en el ámbito académico como comercial, ya que al conocer la mineralogía en una determinada zona se agiliza todo el proceso de búsqueda de información.

Por último, se generaron una serie de mapas en escala 1:100.000 y 1:25.000 con base topográfica y geológica del estado Aragua en donde se aprecian las ubicaciones de las muestras recolectadas permitiendo observar la distribución de las mismas, estableciendo relaciones con la litología, así como también permite definir las zonas donde se agrupan los minerales de arcilla de interés.

A continuación, se señalarán ciertas recomendaciones a considerar para futuros trabajos de esta índole:

- Realizar ensayos de difracción de rayos X en muestras cocinadas a 550°C ya que permite diferenciar los minerales vermiculita y clorita correctamente, así como en ensayos glicolados para la distinción de la vermiculita con la montmorillonita.
- Realizar ensayos de fluorescencia de rayos X a las muestras para de esta manera cuantificar la cantidad de minerales de arcilla y así determinar depósitos de interés comercial.
- Recolectar y ensayar muestras de arcillas en zonas cercanas a las muestras descritas en este trabajo con la finalidad de confirmar la información que fue recopilada de las distintas fuentes bibliográficas.
- Planificar puntos de recolección de muestras en el estado Aragua para de esta manera obtener mayor información y profundizar en las zonas no se tengan datos.
- Determinar las propiedades de expansividad y los límites de Attenbergh para tener información más precisa al respecto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUERREVERE S. & ZULOAGA G. 1937. Observaciones geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *Boletín de Geología y Minería*, Caracas, 1(2-4), 8-24
- 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, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 137 p.
- ALVARADO H, A. 1985. El origen de los suelos. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 9-14.
- AVGUSTINK, AL. 1983. Cerámica. Barcelona, Editorial Reverté S.A. 41-60.
- AYALA, FERRER, OTEO & SALINAS. (1986). Mapa predictor de riesgos por expansividad de arcillas en España a escala 1:1000000. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- 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.
- BARTON, C. D. Y KARATHANASIS, A. D. (2002) Clay Minerals. In: Lal, R., Ed., *Encyclopedia of Soil Science*, Marcel Dekker, New York, USA, 187-192
- BECK, C. 1980. La nappe ophiolitique de Loma de Hierro, chaîne Caräibe centrale, Vénézuéla. *Soc. Géol. France, 8è. Réun. Ann. Sc. de la Terre*, Marseille.
- BENJAMINI C., R. SHAGAM & A. MENÉNDEZ V. DE V. 1986. Formación Tucutunemo. Mem. VI Congr. Geol. Venezolano, Caracas, 10: 6551-6574. Versión en inglés: *Stratigraphic and tectonic implications*, *Geology*, (15): 922-926.
- BELL J. S. 1968. Geología del área de Camatagua, Estado Aragua, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 9(18): 291-440.
- BELLIZZIA, A. 1989, Sistema montañoso del Caribe - una cordillera alóctona en la parte norte de América del Sur. *Mem. VI Congr. Geol. Venezolano*, Caracas, 10: 6657-6835.
- CAPPUCCIO, M. (2021) "CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO MIRANDA" Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geología, EGMG, UCV; 266 páginas. En prensa.
- 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.

- DANA. (1960). Manual de Mineralogía. Editorial Reverté. 2da Edición. Madrid España. 446-459.
- DENGO, G. 1951. Geología de la región de Caracas. Boletín de Geología, Caracas, 1(1): 39-116
- DÍAZ, P. 2014. Geología de la región de Belén, San Juan de los Morros y San Sebastián de los Reyes, en los estados Carabobo, Guárico y Aragua. UCV-G, 148 p.
- EBERL, D & SRODON, J (1984). Illite, Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 13 (1): 495-544
- FOURNER, H. 1999. Estudio de los minerales de arcilla en la sección de Agua Blanca Altagracia de Orituco. Estados Guárico y Miranda. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 184 p.
- 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
- 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. 2009. Geoquímica de las Metavolcanosedimentarias de Los Naranjos, Filita de Tucutunemo, Aragua central y su interpretación tectónica. UCV. Fac. Ingeniería. Escuela de Geología
- GRANDE, S. & URBANI, F. 2009. Presence of a high grade rocks in NW Venezuela of possible Grenvillian affinity. In: K. JAMES, M. A. LORENTE & J. L. PINDELL (eds.). *The geology and evolution of the region between North and South America*. Geological Society of London, Special Publication 328: 533-548.
- GUILLÉN, W. Y TORIBIO, E. (2006). Compilación, digitalización y actualización geológica-cartográfica de la zona Nor-Central estados Guárico y Aragua. UCV-G, 110p.
- HACKLEY P., URBANI F., KARLSEN A. W., GARRITY C. P. 2006. Mapa geológico de Venezuela a escala 1:750.000. U.S. Geological.
- 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, M. 2006. Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, Estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 152 p.
- HERNANDO, M; HERNANDO, C; BARBA, C Y BARBA, S. 2001. Vermiculita en suelos desarrollados sobre gneis. EDAFOLOGIA, Vol. 8, pp. 9-19.
- INVESTI, 1963. Arcillas Industriales de Venezuela.
- JAIMES, M. 2012. *Estudio geológico-petrográfico de la zona de Crucito-Albarico-Carabobo, edo. Yaracuy*. Universidad Central de Venezuela. Geologist thesis. (Reproducido en *Geos*, UCV, Caracas, 42: 126-127 + 108 p. en carpeta 5 de DVD, 2012).
- 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.
- LAUBSCHER, H. P. 1955. Structural and petrogenetic aspects of the Baruta area in the Venezuelan Coast Range. *Eclog. Geol. Helv.*, 48 (2): 329-344.
- LUTGENS, F & TARBUCK, E. (2005). Ciencias de la Tierra. Octava edición. Editorial Pearson Educación S.A., Madrid, España.
- MACLACHKAN J. C., R SHAGAM & H. H. HESS. 1960. Geología de la región de La Victoria, estado Aragua, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. Esp. 3, 2: 676 - 684. Versión en inglés: Geology of the La Victoria área, Aragua, Venezuela. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 71(3):241 - 248.
- MAMBIE, S. 2017. Integración geológica de la región Ocumare de la costa- Maracay-Valencia. Estados Aragua y Carabobo. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 193 p.
- Maldonado, Y. Recuperado de  
<https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/origen-formacion-suelos/>. 2021
- MENÉNDEZ, A. 1966. Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 8(15): 116-139.
- MOORE, D. M. & R. C. REYNOLDS J. R. 1989. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University of Press, Oxford, 332 pp.

- OSTOS, M. 1990. *Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos*. Geos, Caracas, (30): 1-294
- PEETERS, L. 1968. *Origen y evolución de la cuenca del lago de Valencia, Venezuela*. Caracas. Instituto para la conservación del lago de Valencia. 66 pp.
- PEETERS, L. 1970. *Les relations entre l'évolution du Lac de Valencia (Venezuela) et les paleoclimats du Quaternaire*. Rev. Geog. Pbys: et Geol. Dyn 12:157-160.
- PEETERS, L. 1971. *Nuevos datos acerca de la evolución de las Cuenca del Lago de Valencia (Venezuela) durante el Pleistoceno Superior y Holoceno*. Inst. Conserv. Lago Valencia, 38pp.
- PEETERS, L. 1973. *Evolución de la Cuenca del Lago de Valencia de acuerdo a resultados de perforaciones*. El Lago, 7 (41): 861-874
- PEIRSON, A. L., SALVADOR, A & STAINFORTH, R. M. 1966. The Guárico Formation of north-central Venezuela. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 9(7): 183-224.
- POLANCO, R. 2004. Estudio estructural del borde Norte de la subcuenca de Guárico en la región de Altagracia de Orituco, Estado Guárico Venezuela. UCV-G, 110p.
- 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.
- RODRÍGUEZ, S. (1986). Recursos minerales de Venezuela. Bol. Geol., Caracas, 15(27): 1-228.
- SCREMIN, L. 2019. Caracterización mineralógica y parámetros geotécnicos de arcillas venezolanas como fuente de lodo Bentonítico. Trabajo de Grado de Maestría. Dpto. de Geología, UCV, 354 p.
- 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.
- SNETHEN *et al* 1975. *A review of engineering experiences with expansive soils in highway*". Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Estados Unidos, pp 27- 3.
- SRODON, 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.
- STEPHAN J. F. (1982). *Evolution géodinamique du domain Caräibe, Andes et Chaine Caräibe sur la transversale de Barquisimeto (Venezuela)*. Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), Doctoral thesis. 512 p. (Reproducido en *Geos*, UCV, Caracas 42: 142-143 + 512 p. en carpeta 18 en DVD, 2012).
- TALUKDAR S. Y D. LOUREIRO. 1982. Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas. *Geos*, Caracas, (27): 15-76.
- TARDÁGUILA, P. 2002. Integración de la geología de la zona de Choroní- Puerto Maya y Maracay, estados Aragua y Carabobo. UCV-G, 161 p.
- URBANI, F & OSTOS, M. 1989. El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. *Geos*, UCV, Caracas, 29: 205-217.
- URBANI, F. 2015. Terrane distribution in north-central Venezuela. En M. SCHMITZ, A. AUDEMARD & F. URBANI (EDS). El límite Noreste de la Placa Suramericana-Estructuras litosféricas de la Superficie al Manto, Capítulo 3, p.77-100.
- URBANI F. & RODRÍGUEZ J. 2004. *Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela*. Caracas: Fundacion Geos-UCV and Funvisis, xii + 146 mapas a escala 1:25.000.
- VIVAS V. & O. MACSOTAY. 1995d. Formación Tememure: Unidad Olistostrómica Eoceno superior – Oligoceno inferior en el frente meridional de la Napa Piemontina, Venezuela Nor – Central. Mem. IX Congr. Latinoamericano Geol, Caracas, 1996:95 - 113.
- VIVAS V. & O. MACSOTAY. 1997. Reinterpretación de la cobertura sedimentaria Cretácico Paleoceno de la napa de Villa de Cura, Venezuela norcentral. Mem., VIII Congr. Geol. Venezolano, Caracas 2:517-525.
- WEHRMANN, M. 1972. Geología de la región de Caracas - Colonia Tovar. Bol. Geol., Caracas, Public. esp. 5, 4: 2093-2121.

## **ANEXOS**

