

**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 LA GUAIRA**

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

**2023**

**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 LA GUAIRA**

**TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones**

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

**2023**

*Este trabajo está dedicado a mi **padre LINO**, a mi **madre GLEDY** y a mi **hermana DANIELA**, quienes con su infinito amor han hecho posible alcanzar este sueño.*

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a la ilustre **Universidad Central de Venezuela** por formarme y hacer de mí una mejor persona.

Gracias al líder y guía de este proyecto, al Prof. **Ricardo Alezones**, quien nunca dudo en darme siempre la oportunidad de demostrar todos mis conocimientos, por ser ese apoyo que como estudiante siempre se necesita.

Gracias a mi madre **Gledy**, que siempre me apoyo y nunca dejo que me faltara nada, por todas esas madrugadas que paso para siempre tener, con mucho amor, mi comida lista.

Gracias a mi padre **Lino** por enseñarme que las carreras son de resistencia y al final no importa quien acabe primero, si no quien aprende más en el camino.

Gracias a mi hermana **Daniela**, por no dejarme solo en ningún momento y siempre estar a mi lado para apoyarme, no olvidare nunca todas las mañanas que me llevaste a la UCV.

Gracias al Prof. **André Singer**, por enseñarme que existe más de una manera de entender la Geología.

Gracias a todos los profesores de la escuela, haciendo mención especial a la profe **Carolina Machillanda**, por abrirme las puertas al extraordinario mundo de la enseñanza.

Gracias a mi tío **José Gregorio**, por enseñarme esta hermosa carrera.

Gracias a todos mis compañeros de campo de largo por hacer hasta lo imposible para llegar a Falcón.

Gracias a mis LAMEPIEDRAS quienes me acompañaron y soportaron durante más de 4 años y de los que siempre estaré agradecido por ofrecerme su amistad.

A **Gustavo**, por ser el hermano que la vida puso en mi camino.

A **Alirio**, por acompañarme en mis ideas más locas y ser la persona más brillante que he podido conocer.

A **Heidy** por cuidarnos y ser la voz de la razón durante todos estos años además de ser mi compañera preferida de café.

A **Nathalya** por ser esa alma bondadosa que siempre está dispuesta a darte una mano.

Por último, me gustaría agradecer a mi Ford fiesta, que, aunque no tengamos la mejor relación, fue pieza fundamental para la obtención de este título.

Teixeira R., Lino A.

## **CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS ARCILLAS DEL ESTADO LA GUAIRA**

**Tutor Académico:** Prof. Ricardo Alezones. Tesis, Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2023, 150p.

**Palabras Clave:** La Guaira, Arcilla-Characterización mineralógica, Arcilla-Base de datos cartográfica, Arcilla-Difracción de rayos X.

**Resumen:** El objetivo principal de esta investigación es la caracterización mineralógica de todo el material de textura arcillosa que se encuentra en la parte superficial del estado La Guaira; se recopiló y analizó toda la información bibliográfica que pudiera existir referente al estudio de arcillas en la zona. Para alcanzar este objetivo, se desarrollaron 4 etapas, la primera consistió en una recopilación y análisis bibliográfico, de donde se lograron identificar que las zonas con presencia de material arcilloso en el estado son las de La Sabana y la de Chuspa, de igual manera se hizo una revisión de todas las unidades geológicas del estado La Guaira. Todo esto permitió ubicar las zonas con más altas posibilidades de encontrar material con textura arcillosa.

Seguidamente alcanzamos la segunda etapa consiste en la recolección de muestras; se utilizó como guía el manual el *Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería* (INGEOMINAS, 2011) el cual sigue las recomendaciones del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP). Se visitaron 23 zonas de donde se logró muestrear en cada una de ellas. La tercera etapa consistió en realizar los ensayos de laboratorios más adecuados para la identificación de los minerales de arcilla, por ello fue elegido el ensayo de difracción de rayos X, el cual permitió determinar la composición mineralógica de cada una de las muestras recolectadas.

Se encontraron minerales de arcilla en 21 de las 23 muestras recolectadas, siendo los principales minerales de arcilla encontrados la illita, caolinita y montorillonita. Gracias a su composición y a distintos minerales

como el grafito, encontrados en algunas muestras, se determinó de manera general que la formación de minerales de arcilla en la zona está controlada por el aporte de sedimentos provenientes de Terreno Las Mercedes y la Formación La Playita. Otras unidades que también influyen en la generación de arcilla, pero en menor proporción son el Complejo San Julián y el Aungengneis de Peña de Mora pertenecientes al Terreno Ávila. La arcilla predominante en toda la zona de estudio fue la illita; también fue identificado el mineral caolinita y la especie montmorillonita, la cual debe ser confirmada por medio de más ensayos de laboratorio que no fueron realizados en esta investigación.

Toda la información recopilada y generada en este estudio permitió generar una base de datos cartográfica donde se encuentren identificados las zonas con material arcilloso, esto se traduce en 13 mapas geológicos a escala 1:25.000, 1 mapa general a escala 1:100.000 junto con el proyecto GIS que incluye toda la información vectorial y tabla de atributos. Por último, se generó una base de datos en formato *Excel*, en donde se incluyó todas las descripciones y anexos generados en la etapa de recolección de muestras, más los difractogramas obtenidos en la etapa de laboratorio.

## ÍNDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
I.1 GENERALIDADES.....	1
I.2 UBICACIÓN .....	1
I.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
I.4 OBJETIVO GENERAL .....	3
I.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
I.6 JUSTIFICACIÓN.....	3
I.7 ALCANCES.....	4
I.8 ANTECEDENTES.....	4
I.8.1 Casos Nacionales .....	4
CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO.....	7
II.1 ETAPA DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA.....	7
II.2 ETAPA DE RECOLECCION DE MUESTRAS.....	8
II.2.1 Materiales y equipos .....	8
II.2.2 Etiquetado de muestra.....	9
II.2.3 Procedimiento .....	9
II.2.4.1 Selección del sitio de muestreo .....	9
II.2.4.2 Etiquetado de muestra.....	9
II.2.4.3 Muestreo .....	9
II.2.4.4 Fotografías.....	10
II.2.4.5 Parámetros geológicos a describir.....	10
II.3 ETAPA DE TRABAJO DE LABORATORIO.....	13
II.3.1 Muestras para su análisis en roca total .....	13
II.3.1.1 Secado al aire libre .....	13
II.3.1.2 Tamizado .....	14
II.3.1.3 Pulverizado .....	14
II.3.2 Muestra para su análisis con la fracción de < 2 $\mu$ .....	15
II.3.2.1 Materiales y equipos utilizados .....	15
II.3.2.2 Preparación de las muestras orientadas .....	17
II.3.3 Condiciones del difractorómetro de rayos X y programa de corridas.....	20
II.3.4.1 Instrumentos .....	20
II.3.4.1 Procedimiento .....	20
II.4 ETAPA DE TRABAJO DE OFICINA.....	21
CAPITULO III. MARCO TEÓRICO .....	23
III.1 BASES CONCEPTUALES.....	23
III.1.1 Arcilla.....	23
III.1.2 Filosilicatos.....	23

III.1.3 Propiedades de las arcillas .....	25
III.1.4 Clasificación de las arcillas .....	25
III.1.5 Rayos X.....	26
III.1.6 Difracción de Rayos X.....	26
III.1.7 Base de datos .....	27
III.1.8 Sistema de Información Geográfico (S.I.G) .....	27
III.2 MARCO GEOLÓGICO .....	28
III.2.1 Generalidades.....	28
III.2.2 Litología.....	30
III.2.2.1 Faja Ávila (Mesoproterozoico-Paleozoico) .....	32
III.2.2.2 Faja Caracas (Paleozoico-Cretácico) .....	34
III.2.2.3 Faja Costera (Cretácico).....	36
III.2.2.4 Material Sedimentario .....	38
III.2.3 Geología estructural.....	43
III.2.3.1 Geología estructural del norte de Venezuela .....	43
CAPITULO IV. RESULTADOS .....	46
IV.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA FASE INICIAL DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO .....	46
IV.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ETAPA DE MUESTREO DE CAMPO.....	47
IV.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA DE LABORATORIO.....	54
IV.3.1 Resultados por zonas de interés .....	54
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SÍNTESIS .....	57
V.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES OBSERVADAS EN CAMPO	57
V.1.1 Descripción de los sitios de muestreo .....	57
V.1.2 Descripción de los perfiles.....	57
V.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIONES DE LOS RESULTADOS MINERALÓGICOS A TRAVÉS DE DRX Y LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DESCRITAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	59
V.2.1 La Sabana .....	59
V.2.1.1 Análisis de muestras.....	59
V.2.1.2 Síntesis de la zona .....	80
V.2.2 Chuspa .....	83
V.2.2.1 Análisis de muestras.....	83
V.2.2.2 Síntesis de la zona .....	100
V.3 SÍNTESIS GENERAL DE LOS MINERALES DE ARCILLA IDENTIFICADOS POR DRX.....	103
V.4 USO DE LA ARCILLA.....	104
CAPITULO VI. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	106
VI.1 SUMARIO .....	106
VI.2 CONCLUSIONES.....	107



VI.3 RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA .....	110
ANEXO A .....	117
ANEXO B .....	118
ANEXO C .....	135
ANEXO D .....	136
ANEXO E .....	137

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica de La Guaira .....	2
Figura 2.1 Esquema metodológico .....	7
Figura 3.1 Clasificación de minerales de arcilla.....	25
Figura 3.2 Mapa geológico de la Cordillera de la Costa.....	29
Figura 3.3 Mapa geológico de la región oriental de Cordillera de la Costa.....	31
Figura 5.1 Calicata para recolección de la muestra NWLS-SUB-001 .....	58
Figura 5.2 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-001 .....	59
Figura 5.3 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-001 .....	593
Figura 5.4 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-001 .....	60
Figura 5.5 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SEB-002.....	61
Figura 5.6 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SEB-002 .....	61
Figura 5.7 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SEB-002 .....	62
Figura 5.8 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-003 .....	63
Figura 5.9 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-003.....	64
Figura 5.10 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-003 .....	64
Figura 5.11 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-004 .....	65
Figura 5.12 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-004 .....	66
Figura 5.13 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-004 .....	66
Figura 5.14 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-005 .....	67
Figura 5.15 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SEB-006.....	68
Figura 5.16 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SEB-006 .....	68
Figura 5.17 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SEB-006 .....	69
Figura 5.18 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-007 .....	70
Figura 5.19 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-007 .....	70
Figura 5.20 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-002 .....	71

Figura 5.21 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-008 .....	72
Figura 5.22 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-008 .....	72
Figura 5.23 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-008 .....	73
Figura 5.24 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-009 .....	74
Figura 5.25 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-009 .....	74
Figura 5.26 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-009 .....	75
Figura 5.27 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SEC-010 .....	76
Figura 5.28 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SEC-009 .....	76
Figura 5.29 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SEC-010 .....	77
Figura 5.30 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-018 .....	78
Figura 5.31 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-018 .....	78
Figura 5.32 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-019 .....	79
Figura 5.33 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-019 .....	80
Figura 5.34 Ubicación de muestras de la zona de La Sabana .....	82
Figura 5.35 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEB-011 .....	83
Figura 5.36 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEB-011 .....	84
Figura 5.37 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEB-011 .....	84
Figura 5.38 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEC-012.....	85
Figura 5.39 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEC-012 .....	86
Figura 5.40 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEC-012 .....	86
Figura 5.41 DRX Ensayo de Roca Total. Muestra NECH-SUB-013.....	88
Figura 5.42 DRX Ensayo Orientado. NECH-SUB-013 .....	88
Figura 5.43 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SUB-013 .....	89
Figura 5.44 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SUC-014 .....	90
Figura 5.45 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SUC-014 .....	90
Figura 5.46 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEC-014 .....	91
Figura 5.47 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEB-015.....	92
Figura 5.48 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEB-015 .....	92
Figura 5.49 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEB-015 .....	93
Figura 5.50 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SUB-017.....	94
Figura 5.51 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SUB-017 .....	94
Figura 5.52 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SUB-017 .....	95

Figura 5.53 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEC-020.....	96
Figura 5.54 DRX Ensayo Orientado: Muestra NECH-SEC-020 .....	96
Figura 5.55 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEB-021 .....	97
Figura 5.56 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEB-021 .....	98
Figura 5.57 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SUB-022.....	99
Figura 5.58 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SUB-023.....	100
Figura 5.59 Ubicación de muestras de la zona de Chuspa.....	102

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1 Formulario de captura de datos de campo. Información General. ....	10
Tabla 2.2 Formulario de captura de datos de campo. Localización del punto de muestreo .....	11
Tabla 2.3 Formulario de captura de datos de campo. Descripción del sitio de muestreo. ....	12
Tabla 2.4 Formulario de captura de datos de campo. Datos de campo.....	13
Tabla 3.1. Clasificación de los filosilicatos.....	24
Tabla 3.2 Subdivisión de las fajas de la Serranía del Litoral .....	29
Tabla 3.3 Resumen de las unidades aflorantes en la zona de estudio .....	42
Tabla 3.4 Modelos de la evolución tectónica en el estado La Guaira .....	44
Tabla 4.1 Mineralogía por DRX y ubicaciones relativas .....	46
Tabla 4.2 Coordenadas y ubicación de los sitios de muestreo en campo. ....	47
Tabla 4.3 Observaciones y reporte de los sitios de muestreo.....	49
Tabla 4.4 Composición mineralógica obtenida por DRX .....	54

## **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

### **I.1 GENERALIDADES**

Este trabajo académico se realiza en el estado La Guaira abarcando las 11 parroquias que conforman dicho estado, teniendo como objetivo la caracterización mineralógica de los cuerpos de arcilla que se encuentran distribuidos a lo largo de la zona estudiada. Sobre una base cartográfica geológica se ubican los lugares donde afloran superficialmente los cuerpos de arcilla. Este mapa forma parte de una base de datos que integra la información de los cuerpos de arcilla georeferenciados junto con la información y descripción mineralógica y de uso de estos materiales; esto con la intención de facilitar los futuros trabajos de exploración que busquen explotar estos recursos, bien sea en la industria de la construcción como cerámica o ladrillo.

### **I.2 UBICACIÓN**

El área de la zona de estudio corresponde al estado La Guaira (anteriormente estado Vargas), que se encuentra distribuido en un (1) solo municipio y 11 parroquias. Abarca una superficie de 1497 km<sup>2</sup>; esta región se encuentra caracterizada topográficamente al sur por un relieve abrupto con grandes elevaciones denominada Cordillera de La Costa, orientadas en dirección este-oeste; mientras que al norte se caracteriza por presentar una gran franja costera la cual colinda con la ladera norte de las grandes elevaciones topográficas ya mencionadas.

Haciendo referencia al Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa de URBANI y RODRÍGUEZ (2004), el estado La Guaira geológicamente presenta una distribución de tipos litológicos variada ya que abarca gran parte de la Serranía del Litoral, específicamente la faja Costera, faja Ávila y faja Caracas, las cuales presentan extensas unidades metaígneas y metasedimentarias que se encuentran dispuestas y distribuidas de este-oeste por todo el estado; además también se puede encontrar hacia el oeste notables afloramientos de rocas de origen sedimentario como la Formación Cabo Blanco y hacia el este la Formación La Playita.

El estado La Guaira, además, se caracteriza por presentar grandes sumideros y abanicos aluviales que son moldeados y producidos en su mayoría por grandes eventos hidroclimatológicos; estos abanicos se encuentran ubicados principalmente en la zona central del estado.

Figura 1.1. Ubicación geográfica de La Guaira

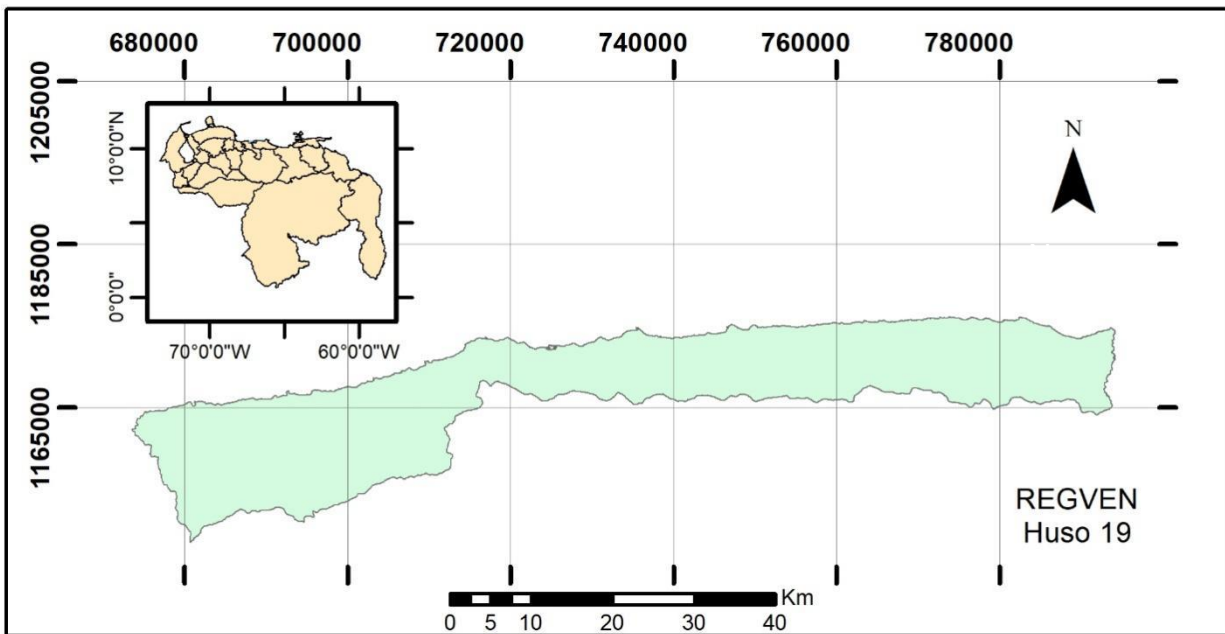


Figura 1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

### I.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La topografía del estado La Guaira se encuentra caracterizada por la presencia de una importante franja costera y un área de relieve alto combinado con pequeñas depresiones; además, cuenta con una importante red fluvial que sumado al clima seco de la región (característico de las zonas tropicales) genera un alto perfil de meteorización y erosión, creando nuevo material sedimentario; este nuevo material sedimentario será transportado por las mencionadas redes fluviales las cuales permiten el desarrollo de depósitos fluviales y aluviales que generaran suelos (transportados o residuales) que estarán compuestos (dependiendo de la morfología del área) por material arcilloso. La fuente que origina este material arcilloso es muy variada, ya que en esta región afloran rocas metaígneas, metamórficas, metasedimentarias e inclusive sedimentarias. Esta variación litológica permite tener distintas composiciones de material arcilloso que puede tener diferentes usos y utilidades.

La información existente relacionada con las arcillas en la zona de estudio es escasa, ya que los únicos trabajos que se pueden encontrar tienen un enfoque mucho más local y comercial, debido a que en su mayoría son investigaciones de empresas privadas. Esto provoca que la información se encuentre dispersa e impide que se

tenga conocimiento integrado a nivel regional de la ubicación de los cuerpos de arcilla en el estado La Guaira.

Conocer las características del suelo arcilloso, permitiría solucionar inconvenientes, ya sea que estén relacionados con la geotecnia o incluso si se está buscando información de las arcillas para un posible uso industrial.

Es por eso que se considera indispensable recopilar toda la información disponible para así generar una base de datos que contenga la distribución general de los cuerpos de arcilla en todo el estado en un solo trabajo, para así facilitar la investigación de futuros estudios.

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

Caracterizar mineralógicamente las arcillas ubicadas en el estado La Guaira.

#### **I.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Recopilar información bibliográfica y cartográfica de trabajos académicos, artículos y estudios sobre la mineralogía de los cuerpos arcillosos en la región.
- Recolectar muestras asociadas a cuerpos arcillosos durante un trabajo de campo.
- Realizar análisis mineralógicos por medio de difracción de rayos X (DRX) a las muestras tomadas durante el trabajo de campo.
- Generar una base de datos mediante la integración de la información cartográfica con la bibliográfica, en donde se muestren las coordenadas, mineralogía y posible uso industrial y comercial de las arcillas estudiadas.
- Elaborar una serie de trece (13) mapas geológicos a escala 1:25000 y un mapa geológico general a escala 1:100.000 donde se encuentren representados los cuerpos de arcilla caracterizados.

#### **I.6 JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo forma parte de un proyecto dentro del Departamento de Geología de la escuela de Geología, Minas y Geofísica conocido como "Atlas de depósitos de arcilla en Venezuela" el cual busca caracterizar y generar una base de datos tanto bibliográfica como cartográfica de los cuerpos de arcillas dispuestos de manera superficial en el país.

La características topográficas y geológicas del estado La Guaira plantean oportunidades ideales para el aprovechamiento de los recursos minerales que le permitan al estado elaborar un plan de desarrollo que se encuentre ligado al uso de los minerales de arcilla para industrias como la cerámica o alfarera, llegando incluso a abarcar la explotación con fines de extracción de material para construcciones civiles. Para lograrlo, el conocimiento del entorno geológico de la zona es la base para poder desarrollar proyectos de explotación minera de forma racional.

El generar una base de datos donde se encuentren publicados la ubicación, extensión geográfica y caracterización mineralógica de los cuerpos de arcilla puede ser de gran utilidad no solo desde el punto de vista económico, sino también social, ya que al mismo tiempo se estarían conociendo las áreas susceptibles a riesgo geológico relacionado con arcillas expansivas. De esta manera tanto el estado como la sociedad serán los principales beneficiarios de este estudio.

## **I.7 ALCANCES**

El enfoque principal del trabajo es la generación de un mapa geológico general y una base de datos donde se puedan encontrar la ubicación de los cuerpos de arcilla con su caracterización mineralógica correspondiente y además información relacionada con sus posibles usos industriales y comerciales.

La generación del mapa geológico ligado con la base de datos permitirá a los entes interesados desarrollar alianzas para la exploración y posterior explotación de los recursos minerales encontrados e incluso puede servir como primer acercamiento a zonas de riesgo geológico debido a las propiedades desfavorables que presentan algunas arcillas para el desarrollo urbanístico.

## **I.8 ANTECEDENTES**

### **I.8.1 Casos Nacionales**

- INVESTI (1962). Es el primer estudio al nivel nacional que hace referencia a caracterizar arcillas, este estudio pretendía reunir toda la información de las arcillas para así determinar su calidad y posible uso industrial. Plasmaron la ubicación de los yacimientos en un mapa geológico y enviaron las pruebas a laboratorios donde se determinaría la calidad de las arcillas recolectadas.

- TARACHE (1975). Realizó un levantamiento geológico en la franja sedimentaria Norcentral de Venezuela que se extiende desde la localidad de Punta El Burro, estado La Guaira, hasta la boca del río Aricagua, estado Miranda. El trabajo tuvo como objetivo proponer una denominación formal para la secuencia sedimentaria llamada “capas de La Sabana”; el levantamiento estuvo acompañado de ensayos de laboratorio con la intención de caracterizar todo el material y así poder establecer con suficiente precisión características distintivas dentro de la secuencia llamada “capas de La Sabana”.
- PADRÓN (2021) Caracterizó geológicamente las arcillas del estado Aragua. Las muestras de este estudio fueron agrupadas en base a su ubicación para posteriormente analizar los difractogramas de cada una. La lectura de los picos de los difractograma permitió identificar los minerales de arcilla presentes en las muestras, las especies encontradas fueron la illita, montmorillonita, vermiculita, clorita y caolinita. En función de la mineralogía identificada y el entendimiento de las propiedades que presenta cada especie mineral, se establecieron una serie de aplicaciones industriales para las arcillas identificadas en el área; que van desde la industria alfarera para las zonas con alta presencia de illita y caolinita; hasta la recomendación de cuantificar las cantidades de montmorillonita en las áreas que presentan este mineral, esto con la intención de aprovechar la misma como “arcilla bentonita” ya que tal arcilla tiene un importante valor comercial. Todos los resultados obtenidos son expresados en una serie de mapas a escala 1:100.000 donde se representan los puntos de caracterización o toma de muestra de arcilla, además, de generar una base de datos para facilitar la consulta de la información.
- GONZÁLEZ (2021) se encargó de caracterizar geológicamente el material arcilloso que se encuentra dispuesto de manera superficial en el estado Carabobo. Para este análisis el autor recopiló cerca de 20 difractogramas sobre muestras de arcillas con su respectiva ubicación, encontrados en la bibliografía consultada. El análisis de los picos de los difractogramas permitió identificar cinco especies minerales de arcillas (vermiculita, montmorillonita, clorita, caolinita e illita). De la identificación mineralógica de las muestras y comparándola con la base geológica compilada se realizó una correlación de los minerales de arcillas con los cuerpos litológicos, en función de entender la



génesis de cada mineral de arcilla encontrado, también se establecieron una serie de aplicaciones industriales para las arcillas identificadas en cada área. Al final, los resultados son expresados en un juego de mapas 1:100000 y 1:25000 donde se señalan los puntos de caracterización de muestra de arcilla, además, se generó una base de datos para facilitar la consulta de la información.

- CAPPuccio (2021) fue el encargado de caracterizar geológicamente todo el material de origen arcilloso encontrado en el estado Miranda. Para ello se basó en la búsqueda de información en trabajos de grado, artículos y empresas e instituciones para así obtener ochenta (80) difractogramas con su respectiva ubicación. Con base al análisis de estudios de estos difractogramas se identificaron cinco especies de minerales de arcilla (illita, montmorillonita, vermiculita, clorita y caolinita). En base a la mineralogía consultada, determinó algunos usos industriales que podían tener cada una de estas especies minerales. Finalmente, los resultados son reflejados en un mapa 1:100000 y una serie de mapas 1:25000 de todo el estado Miranda, sumado a esto, también se generó una base de datos en el *software* Microsoft Excel en forma de *dashboard* para proporcionar interactividad al momento de realizar consultas.
- SALAS (2021) Caracterizó geológicamente las arcillas ubicadas en la zona Metropolitana de Caracas. Recolectó cerca de 32 muestras distribuidas por toda la zona de estudio, a las que se le aplicaron ensayos DRX los cuales indicaron la presencia de minerales de arcilla como la illita, halloysita, dickita, vermiculita, caolinita, illita, montmorillonita y clorita. Con esta información se determinó que el posible aporte mayoritario para la formación de minerales de arcilla en la zona de estudio, está dominado básicamente por el Esquisto de Las Mercedes y Esquisto Las Brisas. Toda la información recopilada y generada por este estudio fue plasmada en una serie de mapas geológicos a escala 1:25000, además, de también generar una base de datos en *Excel*, en las que se incluyó toda la información obtenida a lo largo de la investigación.

## CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO

El trabajo se compone de cuatro fases que una vez sean cumplidas correctamente conllevan a alcanzar el objetivo principal de la investigación. Las etapas son: recopilación bibliográfica y cartográfica, recolección de muestras, trabajo de laboratorio y trabajo de oficina.

Figura 2.1 Esquema metodológico

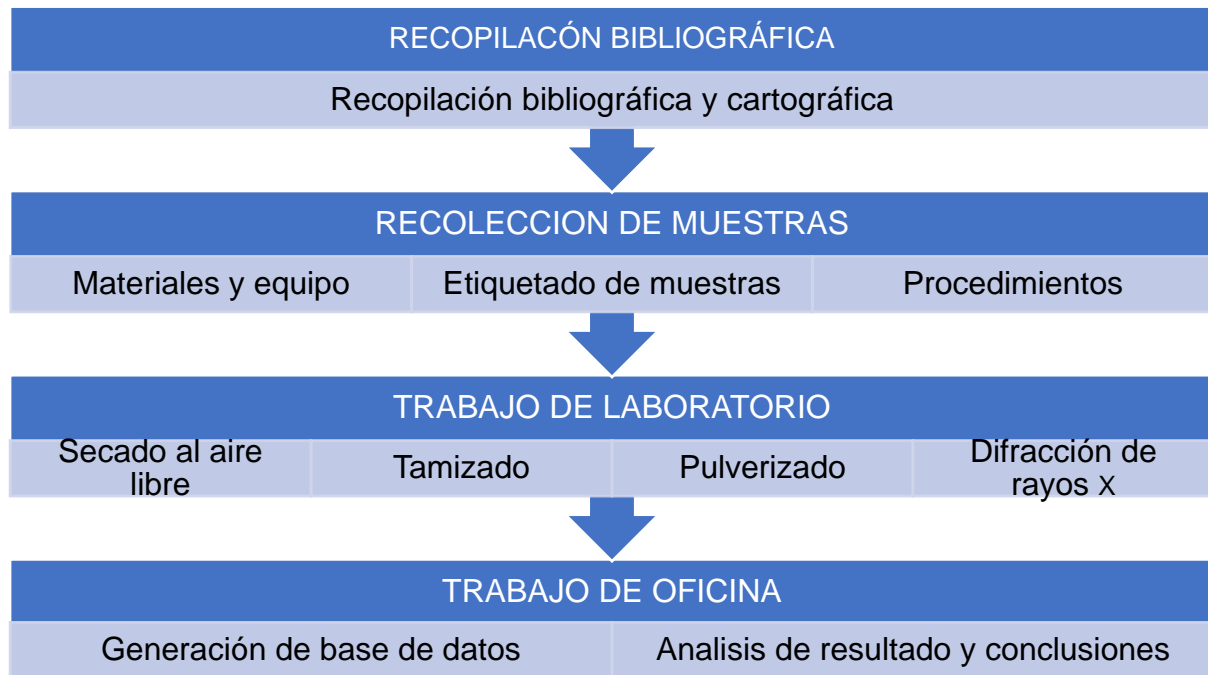


Figura 2.1. Diagrama de flujo de las actividades a realizar durante la ejecución del proyecto.

### II.1 ETAPA DE RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CARTOGRÁFICA

Esta etapa abarca todo lo relacionado con la búsqueda, revisión y organización de la información referente a las características, mineralogía y ubicación de cuerpos arcillosos en la zona de estudio. Esta información será recogida de trabajos de grado, informes técnicos o académicos, y hasta de estudios independientes que abarquen los temas a estudiar; también fue necesario complementar toda la información recogida con la geología regional del estado La Guaira.

También se recopilarán datos cartográficos, que van desde topográficos hasta geológicos, para así posteriormente plasmar toda la información obtenida.

## **II.2 ETAPA DE RECOLECCION DE MUESTRAS**

La metodología implementada en este trabajo sigue los lineamientos establecidos en Salas (2021), el cual indica que la recolección de muestras seguirá las normas establecidas por el *Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería* (INGEOMINAS, 2011) que tiene por finalidad servir de guía para la selección de sitios de muestreo, toma y preparación de muestras de suelos, aguas y sedimentos finos, a su vez, este manual sigue las recomendaciones del *Programa Internacional de Correlación Geológica* (IGCP).

Ciertas especificaciones del manual fueron adaptadas y modificadas debido a las características y condiciones del área de estudio.

### **II.2.1 Materiales y equipos**

- Bolsas plásticas y de papel
- Guantes de caucho
- Muestreador (cilíndrico o pala)
- Pala de plástico
- Cinta métrica
- Marcadores indelebles de tinta negra
- Cajas plásticas
- Mapas topográficos
- Brújula
- GPS
- Martillo
- Lupa
- Cámara o teléfono celular
- Cinta adhesiva de papel
- Etiquetas
- Libreta de campo

## II.2.2 Etiquetado de muestra

Se utilizó la siguiente nomenclatura para la identificación de las muestras:

NOXX-SUA-XXX

- NOXX: Las primeras dos letras indican el cuadrante geográfico de las zonas ya definidas (O: oeste, S: sur, SE: sureste, E: este), mientras que las dos siguientes indican las iniciales del nombre del sector/urbanización.
- SUA: Las primeras dos letras hacen referencia al tipo de sedimento (SU: suelo, SE: sedimentos estratificados) y la tercera letra indica el horizonte para saber la profundidad A (0-25cm), B (25-50cm), o C (50-200cm).
- XXX: Número consecutivo de colecta de la muestra (empezando con el 001)

## II.2.3 Procedimiento

### II.2.4.1 Selección del sitio de muestreo

La ubicación de los sitios de muestreo será seleccionada previamente, basado en la recopilación de información cartográfica, así como también de la revisión de la bibliografía referente a la localidad.

### II.2.4.2 Etiquetado de muestra

- 1) Se coloca el identificador de la muestra en la bolsa plástica de muestreo
- 2) El número identificador de la muestra se marca sobre el mapa, cerca del punto de localización del muestreo.
- 3) Descripción a detalle del sitio de muestreo y de la muestra.
- 4) Se toman las coordenadas geográficas.

### II.2.4.3 Muestreo

- 1) Se cavan apiques en los sitios seleccionados y se realizan los detalles descriptivos de los horizontes de suelo.
- 2) Se retira la vegetación superficial (capa orgánica viva), el *litter* fresco, las raíces grandes y los fragmentos de rocas.
- 3) Para muestreos geoquímicos estándares de suelos se toma la muestra de suelo superficial (horizonte A, 0-25 cm), después de retirar la capa vegetal, en cada apique. Sin incluir fragmentos de rocas ni raíces. Sin embargo, para los propósitos de este trabajo se tomó la muestra más profunda, a una

profundidad tal que el horizonte pueda identificarse como horizonte B-C o C que generalmente se encuentra dentro de un rango de profundidad entre 25-200 cm. De acuerdo con el manual, se recomienda que la sección a extraer contenga un espesor de 25 cm aproximadamente. Se obtiene aproximadamente 1 kg de sedimentos por cada muestra, esta muestra obtenida se coloca en la bolsa de muestreo, y se asegura un nudo, para evitar contaminación cruzada durante el transporte.

#### II.2.4.4 Fotografías

Se toman preferiblemente dos fotografías de cada sitio de muestreo

- Una para mostrar el paisaje en las cercanías al sitio
- Y otra para mostrar las características de la capa orgánica y de los horizontes del suelo en cada uno de los apiques

#### II.2.4.5 Parámetros geológicos a describir

Tabla 2.1 Formulario de captura de datos de campo. Información General.

1. Información General				
<i>Tipo de muestra tomadas</i>				
Fecha:_____	Agua	<input type="checkbox"/>	<b>Escala de Trabajo</b>	
N° Plancha_____	Suelo	<input type="checkbox"/>	1:100.000	<input type="checkbox"/>
N° Celda_____	Sedimento	<input type="checkbox"/>	1:25.000	<input type="checkbox"/>
N° Subcelda_____	Roca	<input type="checkbox"/>	Otra:	
N° IGM_____	Otro	<input type="checkbox"/>	<b>Responsable</b>	
			Institución/ empresa_____	
			Persona_____	

Tabla 2.1 Formulario de captura de datos de campo. Información General. Tomado y modificado del Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS, 2011)

Tabla 2.2 Formulario de captura de datos de campo. Localización del punto de muestreo

<b>2. Localización del punto de muestreo</b>	
Estado _____	Cuenca principal _____
Municipio _____	Cuenca muestreada _____
Parroquia _____	Margen muestreada
	Izq <input type="checkbox"/>
	Der <input type="checkbox"/>
<b>Coordenadas geográficas:</b>	<b>Coordenadas UTM:</b>
Latitud _____	Norte _____
Longitud _____	Este _____
Método de determinación de punto de muestreo:	<b>Altitud (m)</b>
GPS <input type="checkbox"/>	Medida con:
Otro <input type="checkbox"/>	GPS <input type="checkbox"/>
	Altímetro <input type="checkbox"/>

Tabla 2.2 Formulario de captura de datos de campo. Localización del punto de muestreo. Tomado y modificado del Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS, 2011)

Tabla 2.3 Formulario de captura de datos de campo. Descripción del sitio de muestreo.

<b>3. Descripción del sitio de muestreo</b>			
<b>3.1 Clima de la zona</b>		<b>3.2 Paisaje</b>	<b>3.3 Uso</b>
Cálido árido	<input type="checkbox"/>	Altiplanicie	<input type="checkbox"/>
Cálido semiárido	<input type="checkbox"/>	Lomerío	<input type="checkbox"/>
Cálido húmedo	<input type="checkbox"/>	Montaña	<input type="checkbox"/>
Frío seco	<input type="checkbox"/>	Peniplanicie	<input type="checkbox"/>
Frío húmedo	<input type="checkbox"/>	Piedemonte	<input type="checkbox"/>
		Planicie	<input type="checkbox"/>
		Llanura	<input type="checkbox"/>
		Valle	<input type="checkbox"/>
<b>3.4 Fuente de contaminación</b>		<b>3.5 Vegetación</b>	<b>3.6 Estado del tiempo</b>
Desconocido	<input type="checkbox"/>	Primaria	<input type="checkbox"/>
Agricultura	<input type="checkbox"/>	Secundaria	<input type="checkbox"/>
Industria	<input type="checkbox"/>	Pasto	<input type="checkbox"/>
Aguas negras	<input type="checkbox"/>	<b>3.7 Afloramientos rocosos en el sitio de muestreo</b>	<b>3.8 Litología predominante en la zona</b>
Transporte	<input type="checkbox"/>	No hay	<input type="checkbox"/>
Ganadería	<input type="checkbox"/>	Sí hay	<input type="checkbox"/>
Minería	<input type="checkbox"/>		Ígnea (¿Cuál?): <input type="checkbox"/>
Otro _____			Metamórfica (¿Cuál?): <input type="checkbox"/>
			Sedimentaria (¿Cuál?): <input type="checkbox"/>

Tabla 2.3 Formulario de captura de datos de campo. Descripción del sitio de muestreo. Tomado y modificado del Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS, 2011)

Tabla 2.4 Formulario de captura de datos de campo. Datos de campo

5. Datos de Campo			
<b>Profundidad (cm):</b> _____	<b>N° de muestra</b> _____	<b>Humedad:</b>	
<b>Color:</b> _____		Muy húmedo	<input type="checkbox"/>
		Húmedo	<input type="checkbox"/>
		Poco seco	<input type="checkbox"/>
<b>Textura:</b>	<b>Abundancia de clastos (%)</b>	Seco	<input type="checkbox"/>
Arenosa	0-2		
Limosa	2-5		
Limo-arcillosa	5-15		
Areno-arcillosa	40-80		
Arcillo-arenosa	>80		
Arcillo-limosa		<b>Estructura del suelo</b>	
Arcillosa		Fibrosa	<input type="checkbox"/>
		Prismática	<input type="checkbox"/>
		Columnar	<input type="checkbox"/>
		Laminar	<input type="checkbox"/>
	<b>Contenido orgánico</b>	Granular	<input type="checkbox"/>
	Bajo	Migajosa	<input type="checkbox"/>
	Medio	Cúbica	<input type="checkbox"/>
	Alto	Masiva	<input type="checkbox"/>

Tabla 2.4 Formulario de captura de datos de campo. Datos de campo. Tomado y modificado del Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS, 2011)

### II.3 ETAPA DE TRABAJO DE LABORATORIO

En la etapa de recolección de muestras se lograron obtener un total de 23 muestras, las cuales se procedieron a identificar en el laboratorio la mineralogía presente en cada una de las muestras por medio de difracción de rayos X.

La metodología que se seguirá para la preparación de las muestras se dividió en dos fases:

#### II.3.1 Muestras para su análisis en roca total

Este análisis por DRX se realiza a todas las rocas recolectadas, en forma de montura desorientada, para así identificar la mineralogía total de la roca.

##### II.3.1.1 Secado al aire libre

Cada una de las muestras fueron dejadas en un mesón encima de hojas de papel blancas con su respectiva identificación. Este proceso duro alrededor de 3-4 días.



### II.3.1.2 Tamizado

#### II.3.1.2.1 Instrumentos

- Tamices número: 5,10,18,35,60,120,230, bandeja
- Tambor vibratorio
- Brochas
- Bandeja
- Bolas

#### II.3.1.2.2 Procedimiento

Lo primero que se hace, una vez se tenga la muestra seca, es pesarla. Una vez pesada la muestra se procede a colocarla en el tambor vibratorio durante 8 minutos para que la muestra pueda pasar por todos los tamices previamente seleccionados.

Una vez terminado los 8 minutos, se pesa cada uno del material retenido en cada tamiz para así llenar la tabla granulométrica con los resultados observados.

Para finalizar y para fines de este estudio, se etiquetó y separo en bolsas los sedimentos pasantes del tamiz Nro. 230 (sedimentos más finos) con la intención de elevar la concentración de minerales tipo arcilla.

### II.3.1.3 Pulverizado

#### II.3.1.3.1 Instrumentos

- Equipo de molienda marca “*Shatterbox*”
- Morteros
- Cilindro de carburo de tungsteno
- Alcohol
- Toallas de papel absorbente
- Cuarzo (en cristal de roca)
- Bolsas

#### II.3.1.3.2 Procedimiento

Una vez obtenida la separación de sedimentos por medio del tamizado (pasantes del tamiz 230) se procede al pulverizado de la siguiente manera:

- Primera limpieza del mortero con alcohol y toallas de papel absorbente para eliminar residuos de sedimentos de muestras anteriores.
- Pulverizado con fragmentos de cuarzo de 10 a 20 g aprox. durante 30 segundos, esto con la intención de impregnar el mortero de este mineral común.
- Segunda limpieza con alcohol y toallas de papel absorbente.
- Pulverizado con una cantidad de 10 a 20 g de la muestra a estudiar durante 30 segundos para impregnar el mortero de la muestra de estudio.
- Tercera limpieza con alcohol y toallas de papel absorbente.
- Finalmente se procede al pulverizado de la muestra (20 g aprox.) durante 30 segundos.
- Se etiqueta y embolsa el polvo obtenido

Este procedimiento debe repetirse para cada muestra a estudiar.

### **II.3.2 Muestra para su análisis con la fracción de < 2 $\mu$**

Esta forma de preparación se hizo a un grupo menor de muestras seleccionadas. Con este tipo de análisis sólo se estudian los filosilicatos y consiste en orientar estos minerales según planos basales o (00l) (INDICE DE MILLER). Esta etapa está sujeta a las recomendaciones de FOURNIER (1999).

#### II.3.2.1 Materiales y equipos utilizados

##### II.3.2.1.1 Utensilios de preparación de muestra

- Morteros de ágata, carburo de tungsteno y porcelana
- Portamuestras de aluminio especiales para difracción
- Portamuestras de vidrio de 2 x 3 cm
- Espátula

- Filtros redondos Sartorius de 1,2 micras × 47 mm de nitrato de celulosa , filtros redondos Sartorius tipo SM 27 × 47 mm
- Papel antiadherente Schleicher & Schuell, tipo: B - 2
- Termómetro
- *Beakers* Pirex de 50 ml
- Kitasato Pirex de 500 ml
- Sistema de vacío (vaso graduado, portamembranas de 47 mm y bomba de mano). Bomba de vacío
- Removedores de vidrio
- Vidrios esmerilados de 2 × 2 cm
- Vidrios normales de 2 × 2 cm
- Cuchillo y hojillas
- Cinta transparente adhesiva
- Papel absorbente
- Horno *Blue M Electric Company*, modelo: OV-12A
- Horno *Thermolyne*, modelo: F-A1730
- Cacerola Pyrex con plataforma para el tratamiento con etilén-glicol
- Tamiz de 200 mesh

#### II.3.2.1.2 Equipos de preparación química

- Baño de María. Lauda - Thermostat, modelo: NB- S15/12
- Ultrasonido Branson, modelo: 2210
- Equipo de destilación de agua
- Balanza electrónica Mettler, modelo PE.3000
- Medidor de pH
- Centrífuga. International Equipment Company, modelo: 2-K con capacidad para 12 botellas.

#### II.3.2.1.3 Reactivos

- Agua oxigenada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). 35% extra pura.
- Acetato de sodio (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> 3H<sub>2</sub>O).
- Bicarbonato de sodio (HNaCO<sub>3</sub>).
- Citrato de sodio (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub> 2H<sub>2</sub>O).

- Cloruro de sodio (NaCl), extra puro.
- Ditionito de sodio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), depurado.
- Ácido cítrico.
- Etilén-glicol.
- Acetona.

### II.3.2.2 Preparación de las muestras orientadas

- Usar un martillo para una disgregación inicial de la roca.
- Remover costras de meteorización de igual manera que en la etapa anterior.
- Con un mortero de ágata disgregar (no moler) la roca por períodos limitados ( $\approx 30$  segundos) es recomendable pesar unos 40 mg para las lutitas y 1 gr para las areniscas o calizas.
- Las muestras se pasan a *beakers* de 50 ml identificados con el nombre de la muestra.
- Los carbonatos se retiran con acetato de sodio preparado a pH = 5,5 a cada una de las muestras se vierte un volumen de 40 ml, se agitan con un removedor de vidrio y se disgregan en un ultrasonido por 2 minutos.
- Las muestras se dejan en reposo en un Baño de María a 80°C por 12 h.
- Las muestras se trasvasan a los tubos de la centrífuga previamente identificados con el nombre de la muestra y equilibrando su peso con agua destilada.
- Centrifugar las muestras a 2000 rpm por espacio de 15 minutos.
- Se vierte el líquido sobrenadante.
- Con agua oxigenada 35% se elimina la materia orgánica, para ello a cada una de las muestras, se les agrega entre 5 y 10 ml a una temperatura de 60 a 70 °C, se agitan con removedores de vidrio limpios por intervalos de tiempo.
- Reposar hasta que cese la reacción, la cual se manifiesta como un burbujeo grueso y violento con desprendimiento de gas.

- Equilibrar el peso agregándole agua destilada y se centrifuga a 2000 rpm por 15 minutos.
- Se vierte el líquido sobrenadante.
- Trasvasar las muestras a los *beakers* de 50 ml identificados con el nombre de la muestra
- Eliminar el óxido de hierro en la muestra con citrato de sodio preparado a pH = 7,5; a cada muestra se vierte un volumen de 40 ml, la mezcla se agita con un removedor de vidrio y se dispersa en el ultrasonido por 2 minutos.
- Calentar en el Baño de María hasta que la mezcla alcance los 80°C, esta operación debe hacerse introduciendo un termómetro hasta el fondo de los *beakers* y controlar siempre la temperatura de la mezcla.
- Agregar 1 gr de ditionito de sodio a cada muestra, e inmediatamente después se agita constantemente por espacio de 1 minuto.
- Reposar 2 minutos por cada muestra, el paso anterior y éste se repite dos veces más.
- Trasvasar las muestras en solución a los tubos de la centrífuga identificados, limpios y equilibrando su peso con agua destilada.
- “Lavar” las muestras, centrifugando a 2000 rpm por 15 minutos.
- Verter el líquido sobrenadante.
- Añadir de nuevo citrato de sodio.
- Agitar de nuevo por espacio de 2 minutos, para de nuevo centrifugar a 2000 rpm por 15 minutos. Esta operación se repite dos veces más, pero con agua destilada.
- Se procede a la separación de la fracción  $<2 \mu$ , la cual se obtiene siguiendo la Ley de Stokes, que relaciona la temperatura de la solución, la altura del menisco, la distancia del menisco al eje de la centrífuga y la cantidad de material.

Para asegurar la fracción requerida se aplica el siguiente método:

- Agregar a la muestra contenida en el tubo de la centrífuga agua destilada y agitar constantemente con un removedor de vidrio.
- Se preparan dos *beakers*, A y B de 50 ml, previamente limpios e identificados con el nombre de la muestra.

- Centrifugar la muestra en el tubo especial de la centrífuga equilibrando su peso con agua destilada por espacio de 3,3 minutos y a 850 rpm, el líquido sobrenadante se vierte en el *beaker* A.
- El paso anterior se repite dos veces más, sin desechar el residuo depositado en el fondo del tubo, siempre llenando con agua destilada y agitando con un removedor de vidrio sin dejar grumos en las paredes internas del tubo.
- Dejar reposar el líquido contenido en el *beaker* A por 2 minutos.
- Con el líquido sobrenadante del *beaker* A se procede a llenar el *beaker* B.
- Centrifugar la muestra equilibrando su peso con agua destilada por espacio de 3,3 minutos y a 850 rpm el líquido sobrenadante se vierte en el *beaker* B.
- El paso anterior se repite dos veces más siempre llenando con agua destilada el tubo de la centrífuga y agitando con un removedor de vidrio sin dejar grumos.
- Una vez completada esta operación el líquido sobrenadante del *beaker* B se deja en reposo por 5 minutos hasta pasar al filtrado.

Una vez obtenida la fracción  $<2\mu$  en el *beaker* B, se procede a la filtración o retención de dicha fracción mediante el vacío (el cual se produce por una bomba), usando una membrana o filtro  $<2\mu$ , un kitasato y un portamembrana. El líquido sobrenadante del *beaker* B se vierte en el vaso del aparato de filtración y se pone en funcionamiento la bomba de vacío.

Terminada la filtración de la muestra, se retira el vaso del aparato de filtración y se procede a sacar la membrana con la fracción  $<2\mu$  retenida, la cual se coloca en el portamuestras de vidrio, teniendo precaución de no dejar burbujas de aire entre el vidrio y la fracción retenida además de no hacer mucha presión con los dedos. A continuación, se deja en reposo hasta que se seque la película arcillosa y se retira con cuidado la membrana.

### II.3.3 Condiciones del difractómetro de rayos X y programa de corridas

CAPPUCCIO (2021) menciona que el método de caracterización por difracción de rayos X sobre arcillas se basa en las investigaciones de HENDRICKS & FRY (1930) quienes demostraron que la partícula de tamaño arcilla de los suelos están formadas por minerales cristalinos capaces de someterse al ensayo y obtener diagramas de difracción de rayos X permitiendo así, identificar los mismos.

#### II.3.4.1 Instrumentos

- Papel Absorbente
- Alcohol
- Lápiz de grafito
- Vidrios (27 x 46 mm)
- Porta muestras de Aluminio, especiales para difracción de rayos X
- Tubo de Cu
- Difractómetro, integrado por:
  - ✓ Generador de rayos X: PW 3830.
  - ✓ Goniómetro modelo *Step Scanning*: PW 3020
  - ✓ Detector de rayos X: PW 1711/90

#### II.3.4.1 Procedimiento

- Se limpian con alcohol y papel absorbente los porta muestras de aluminio especiales para DRX.
- Se coloca la etiqueta de la muestra con lápiz grafito
- Se agrega el polvo previamente pulverizado
- Se esparce y distribuye la muestra en la superficie de la placa de vidrio hasta tener una superficie lisa y homogénea

Una vez cumplido estos lineamientos la muestra está lista para ser analizada en el difractómetro, el cual debe estar ajustado bajo los siguientes parámetros:

##### II.3.4.1.1 Identificación mineralógica en roca total

- Intervalo de barrido  $2\theta$ :  $5^\circ - 75^\circ$
- Tipo de montura: desorientada
- Tiempo total: 00:30min
- Generador de rayos X: 40kV 30mA

II.3.4.1.2 Determinación de la cristalinidad de la illita (CI) y de la cristalinidad de la caolinita y clorita (CCao/CCI).

Sirve para la distinción de los filosilicatos, para la medición de la CI y CCao/CCI y para determinar el índice de Srodon o grado de expansibilidad.

- Intervalo de barrido  $2\theta$ : 2 - 50°.
- Tamaño del paso: 0,01° $2\theta$ .
- Tiempo de conteo en cada paso: 1 segundo.
- Velocidad: 0,01° $2\theta$ /seg.
- Ranura divergente: 1°.
- Ranura receptora: 0,1 °.
- Tiempo de duración: 1 hora con 20 minutos.
- Tipo de montura: orientada.
- Generador de rayos X: 40kV 30mA

#### II.4 ETAPA DE TRABAJO DE OFICINA

Es la última fase del trabajo y la que permite alcanzar los objetivos previamente planteados. En esta etapa se buscó obtener tres resultados:

- Mapas geológicos donde se encuentren indicadas las muestras de arcillas recolectadas y analizadas.

Esta generación de mapas se realiza por medio de *software* de sistema de información geográfica, ya sea *Qgis* o *ArcGis*, ya que permiten levantar la cartografía de la zona de estudio, de manera digital, facilitando la ubicación de las muestras y los cuerpos de arcilla.

- Generación de una base de datos en el programa *Microsoft Excel* donde se integre la información cartográfica con la bibliográfica, así como también las posibles aplicaciones de los cuerpos de arcilla estudiados.

Esta base de datos estará asociada a la base topográfica, permitiendo la creación de un sistema de consulta interactivo donde se podrán encontrar la ubicación, mineralogía y posibles usos comerciales de los cuerpos arcillosos del estado La Guaira.



- Análisis de resultados y conclusiones del trabajo

Este análisis de resultados se hará en función de los resultados obtenidos en la etapa de trabajo de laboratorio, se desarrollan tablas y gráficos, además, se realiza el respectivo análisis que permite dar respuesta a los objetivos del trabajo.

## CAPITULO III. MARCO TEÓRICO

### III.1 BASES CONCEPTUALES

#### III.1.1 Arcilla

Enfocando la investigación desde el punto de vista geológico, GARCÍA & SUAREZ (2003) definen varios usos para el termino arcilla, dependiendo de la rama en la que se vaya a trabajar, estos términos son:

- *Mineralógico*: Grupo de minerales, principalmente filosilicatos que poseen un tamaño de grano menor a 2  $\mu\text{m}$
- *Petrológico*: Roca sedimentaria, en su mayoría detrítica de tamaño de grano muy fino
- *Sedimentológico*: Termino granulométrico correspondiente a sedimentos de tamaño menor a 2  $\mu\text{m}$

Ahora, LINARES *et al.* (1983) también definen que en el argot popular las arcillas son todos aquellos materiales que se encuentran en la naturaleza, sobre la superficie terrestre, que al ser mezclados con agua tienden a formar una masa de características plásticas que permite la fabricación de productos cerámicos.

#### III.1.2 Filosilicatos

GARCÍA & SUAREZ (2003) indican que el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 1/256 mm. Según esto, todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.).

Debido a que la mayor parte de las arcillas están compuesta por filosilicatos, es importante lograr comprender su estructura, ya que así se podrá comprender, de mejor manera, sus propiedades.

Usando como guía el Manual de Mineralogía vol 1, basado en la obra de J. D. Dana, de HURBULT & KLEIN (2002) el cual define los filosilicatos como minerales cuya unidad fundamental es una hoja de extensión indefinida de tetraedros de silicio-oxígeno en la que tres de cada cuatro oxígenos del tetraedro están compartidos con sus vecinos resultando en una relación Si:O = 2:5.

La mayoría de los filosilicatos contienen hidróxilos que pueden estar coordinados de dos maneras, por lo que se pueden clasificar a los filosilicatos dentro de alguna de éstas. Los iones de hidróxilo se agrupan en forma octaédrica con un catión en el centro de ésta, y estos últimos pueden ser de  $Mg^{2+}$  formando la estructura de brucita  $Mg_3(OH)_6$  o  $Al^{3+}$  formando la estructura de gibbsita  $Al_2(OH)_6$ . En las capas de brucita, todos los intersitios octaédricos suelen estar rellenos formando hojas llamadas trioctaédricas, mientras que por la mayor carga del  $Al^{3+}$  en las capas de gibbsita, solo pueden entrar a la estructura octaédrica dos tercios de iones de aluminio quedando un tercio vacío, estas hojas son llamadas dioctaédricas. Las hojas tetraédricas de  $Si_2O_5$  se les llama hojas “t”, mientras que las octaédricas de brucita y gibbsita se llaman hojas “o”; si un oxígeno apical entra en la estructura de un octaedro sustituyendo un ion hidróxilo se mantendría una estructura eléctricamente neutra que se llama lámina, de este modo la unión de estas hojas octaédricas y tetraédricas genera una lámina t-o denominada bilaminar. De modo análogo, pueden derivarse formas más complejas si se une una hoja “t” invertida, dando como resultado una lámina triple t-o-t denominada trilaminar.

Tabla 3.1. Clasificación de los filosilicatos

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

Tabla 3.1. Clasificación de los filosilicatos. Tomado de GARCÍA & SUAREZ (2003) y modificado por GONZÁLEZ (2021)

### III.1.3 Propiedades de las arcillas

GARCÍA & SUAREZ (2003) señalan que las importantes aplicaciones industriales de las arcillas radican en sus propiedades fisicoquímicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 mm)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

### III.1.4 Clasificación de las arcillas

Clasificar las arcillas ha sido un tema de debate a través de los años, a continuación, se muestra la clasificación aprobada por la *Association Internationale pour l'Étude des Argiles* (A.I.P.E.A).

Figura 3.1 Clasificación de minerales de arcilla.

Tipo de Capa	Grupo	Subgrupo	Especie Mineral
1:1	Caolinita - Serpentina	Caolinita	Caolinita, dickita, halloysita
		Serpentina	Crisotilo, lizardita, amesita
2:1	Pirofilita - Talco	Pirofilita	Pirofilita
		Talco	Talco
	Esmectita	Esmectita dioctaédrica	Montmorillonita, beidelita
		Esmectita trioctaédrica	Saponita, hectorita, sauconita
	Vermiculita	Vermiculita dioctaédrica	Vermiculita dioctaédrica
		Vermiculita trioctaédrica	Vermiculita trioctaédrica
	Mica #	Mica dioctaédrica	Moscovita, paragonita
		Mica trioctaédrica	Flogopita, biotita, lepidolita
	Mica Frágil	Mica frágil dioctaédrica	Margarita
		Mica frágil trioctaédrica	Clintonita, anandita
Clorita	Clorita dioctaédrica	Donbasita	
	Clorita di, trioctaédrica	Cokeita, sudoita	
	Clorita trioctaédrica	Clinocloro, chamosita, Nimita	

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

Figura 3.1. Clasificación de minerales de arcilla aprobada por la A.I.P.E.A elaborada por BAILEY & CHAIRMAN (1980) y modificada por GONZÁLEZ (2021)

Por su parte GARCÍA & SUAREZ (2003) clasifican las arcillas por sus distintos usos industriales, definiendo así las siguientes categorías:

- *Arcillas comunes*: también conocidas como arcillas cerámicas o arcillas compuestas por dos o más minerales de la arcilla, generalmente illita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son

filosilicatos (carbonatos, cuarzo...). Se utilizan para la fabricación de materiales de construcción y agregados.

- *Arcillas especiales*: son arcillas constituidas, fundamentalmente, por un solo tipo de mineral de la arcilla y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Éstas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales. Estas arcillas especiales a su vez se pueden dividir en:
  - Caolines y arcillas caoliníferas: Utilizado principalmente en la industria del papel, también se emplea en la elaboración de cerámicas refractarias, otros usos se encuentran en la industria química y en los cosméticos.
  - Bentonitas: Utilizado principalmente como lodo de perforación, absorbente, detergentes, industria de la pintura, agricultura. También, tiende a emplearse como arena de moldeo.
  - Paligorskita-Sepiolita: Empleado en la industria de la agricultura como fertilizante, también es usado como absorbente y en aerosoles.
  - Otros tipos de arcillas especiales: en éstas se encuentran las halloysitas, hectoritas, ambas especies escasas en el mundo.

### III.1.5 Rayos X

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

### III.1.6 Difracción de Rayos X

CAPPUCCIO (2021) recopila la información de varios autores y define que la difracción de rayos X es un método que permite identificar minerales ya que estos poseen estructuras cristalinas definidas, es decir, que poseen una distribución regular entre los componentes de sus redes cristalinas.

Por su parte SCREMIN (2019) indica 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

Esto permite determinar que conociendo la longitud de la onda y su ángulo es posible saber el espaciamiento entre los planos de un cristal y así establecer su geometría.

Como resultado a esta prueba tendremos un difractograma, lo cual no es más que una serie de picos independientes para cada mineral, para así lograr identificar las 4000 especies existentes.

### **III.1.7 Base de datos**

Según la RAE, se trata de un conjunto de datos organizados de tal modo que permita obtener con rapidez diversos tipos de datos. Para fines de este trabajo, se usará la definición que indica, que es el conjunto de datos obtenidos y analizados, reagrupados sistemáticamente en función de ubicación, características mineralógicas y sus posibles usos.

### **III.1.8 Sistema de Información Geográfico (S.I.G)**

SASTRE (2010) lo define como una integración organizada del *hardware*, *software*, datos geográficos y personales que permite, entre otras, cosas almacenar y representar información geográfica referenciada con la intención de solucionar problemas de planificación y gestión.

A través de esta definición, se da a entender que los S.I.G funcionan como una base de datos, basándose en la ubicación geográfica sobre un mapa digital, para así cuando se busque un objeto dentro del mapa se obtendrán sus características mineralógicas y posibles usos industriales.

## III.2 MARCO GEOLÓGICO

### III.2.1 Generalidades

El norte de Venezuela se caracteriza por presentar una larga cadena montañosa que tiene más de 300 km de largo en dirección E-W y 80 km de N-S. Esta cadena es denominada “Cordillera de La Costa” y pertenece al Sistema Montañoso del Caribe (SMC). Este contraste topográfico bien definido que existe entre la cordillera y el resto de Venezuela nos evidencia la existencia de un gran evento tectónico responsable de la formación de dicho relieve. A lo largo de los años diversos geocientíficos se han encargado de estudiar la Cordillera de La Costa llegando a la conclusión de que está compuesta por distintas unidades alóctonas que fueron emplazadas durante la colisión de la placa Sudamericana con la placa Caribe.

El primer estudio del que se tiene registro de descripción de las rocas del Ávila es HUMBOLDT (1808), ascendiendo a la Silla de Caracas y Pico Oriental e identificando rocas como gneis, esquistos micáceos y cantos rodados de cuarzo.

Ya entrados en el siglo XX los estudios de cartografía geológica para el norte de Venezuela, son iniciados por AGUERREVERRE & ZULOAGA (1937) en donde postulan como núcleo de la Cordillera rocas augengnéisicas, denominándolo como Augengneis de Peña de Mora y describen las rocas que suprayacen a este núcleo como metamórficas. Estos autores también definen que el origen de estas rocas metamórficas es sedimentario.

Posteriormente, estos estudios son ampliados por MENÉNDEZ (1966) quien es el primero en dividir el área en 4 fajas denominadas Cordillera de La Costa, Cauagua-El Tinaco, Paracotos y Villa de Cura.

BECK (1986) describe que el Sistema Montañoso del Caribe está compuesto por una serie de unidades tectónicas denominadas “napas”, aflorando de manera discontinua alguna de ellas, producto por la presencia de fallas transcurrentes mucho más jóvenes, lo cual complica mucho más la interpretación tectónica de la región. Estas napas son: Ofiolítica costanera, de la Cordillera de la Costa, Cauagua-El Tinaco, Loma de Hierro-Paracotos, Villa de Cura y Piemontina.

URBANI & OSTOS (1989) diferencian la faja de La Cordillera de La Costa en tres Fajas diferentes denominadas Faja Costera, Faja Ávila y Faja Caracas.

Producto de la tragedia de Vargas en 1999, FUNVISIS, en conjunto con la Universidad Central de Venezuela, se encargaron de compilar e integrar la

información geológica y mapas a escala 1:25.000 de la Cordillera de La Costa (URBANI, 2012), generando así el denominado “ Atlas Geológico de la Cordillera de La Costa” (URBANI Y RODRIGUEZ, 2004) el cual comprende un total de 146 mapas.

En dicho atlas, se dividió la cordillera del norte del país en dos grandes napas separadas por la falla de la Victoria, éstas fueron llamadas Napa de la Serranía Litoral y Napa de la Serranía del Interior, como se observa en la figura 3.2.

Figura 3.2 Mapa geológico de la Cordillera de la Costa

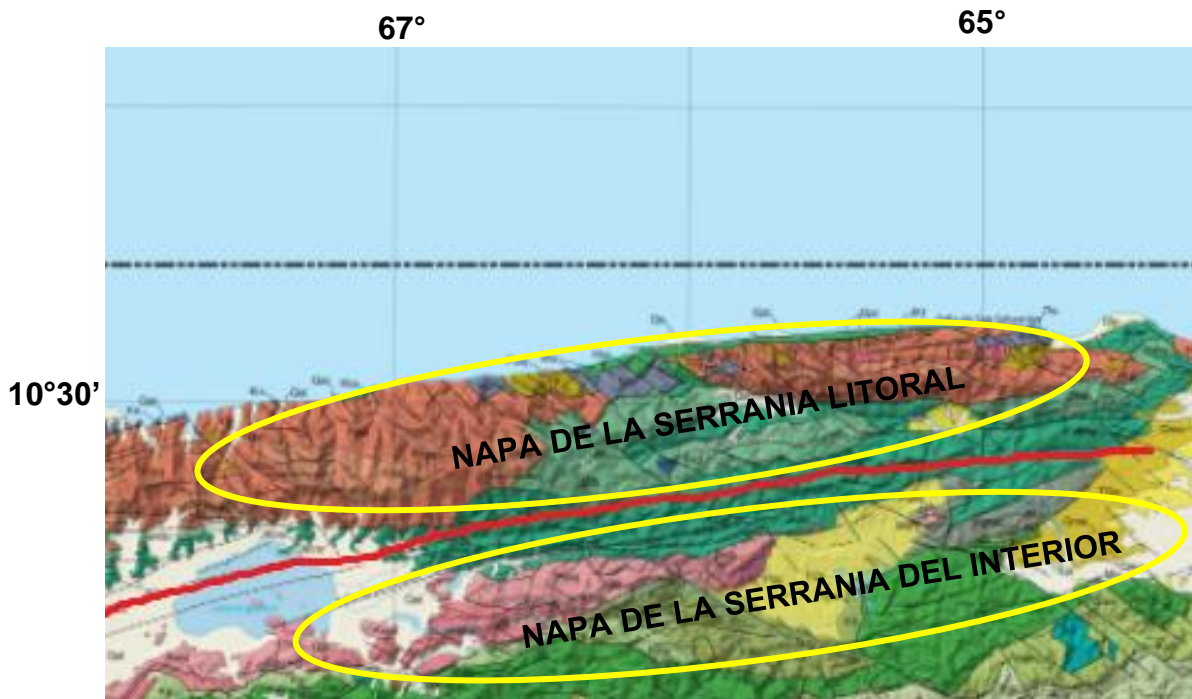


Figura 3.2. Mapa geológico de la Cordillera de la Costa, con la separación de las unidades de las Napas de la Serranía del Interior al sur y la Serranía del Litoral al norte. Tomado y modificado de Urbani & Rodríguez (2004)

Tabla 3.2 Subdivisión de las fajas de la Serranía del Litoral

Menéndez (1966), fajas	Stephan (1982), fajas	Beck (1986), napas	Urbani y Ostos (1989), fajas	Urbani (2015) Fajas
Cordillera de la Costa	Margarita-Costera	Margarita-Costera	Costera	Costera (septentrional)
	Cordillera de la Costa	Cordillera de la Costa	Ávila	Ávila (central)
			Caracas	Caracas (meridional)

Tabla 3.2. Evolución de la subdivisión de las fajas de la Serranía del Litoral. Tomado y modificado de Urbani (2018)

Sin embargo, URBANI (2018) explica que en la última década con los trabajos auspiciados por FUNVISIS y la UCV, se han compilado mapas geológicos a escala 1:25.000 para un total de 103.000 km<sup>2</sup> de extensión. Con este cubrimiento, se ha permitido alcanzar un mejor entendimiento de la distribución de las unidades



geológicas, su significado y evolución. Así, de acuerdo con las ideas ampliamente aceptadas de un origen Pacífico para la provincia Caribe, la elevación de las montañas del norte de Venezuela ocurre en tiempos del Cenozoico medio, como resultado de un extenso proceso de apilamiento de napas, diacrónico de oeste a este, produciendo una variada intercalación de terrenos geológicos originados en distintos contextos de espacio-tiempo.

URBANI (2018), en la revisión de los terrenos geológicos del Sistema Montañoso del Caribe, norte de Venezuela, divide las unidades de la Cordillera de la Costa de la siguiente manera:

1. Serranía del Litoral
  - 1.1. Faja Costera (septentrional)
    - 1.1.1 Terreno Tacagua
    - 1.1.2 Terreno Carayaca
  - 1.2. Faja Ávila (central)
    - 1.2.1 Terreno Ávila
    - 1.2.2 Terreno Nirgua
  - 1.3. Faja Caracas (meridional)
    - 1.3.1 Terreno Las Mercedes
    - 1.3.1 Terreno Las Brisas

El estudio de la geología regional se basará principalmente en los trabajos de Urbani & Rodríguez (2004) y Urbani (2018), así como su nomenclatura para definir las unidades litológicas. Sin embargo, la descripción litológica se tomará de la información disponible de diversos trabajos y autores.

### **III.2.2 Litología**

El estado La Guaira se caracteriza por presentar una litología variada, ya que se puede hallar rocas metamórficas, tanto metaigneas como metasedimentarias; también existen algunos cuerpos sedimentarios, como la Formación Cabo Blanco, la Formación La Sabana y la Formación La Playita, los cuales son principalmente pliocenos, lo que permite interpretar que son cuerpos jóvenes que se formaron por la erosión de las rocas emplazadas. También es posible encontrar abundantes depósitos de abanicos aluviales a lo largo de toda la costa.

Figura 3.3 Mapa geológico de la región oriental de Cordillera de la Costa

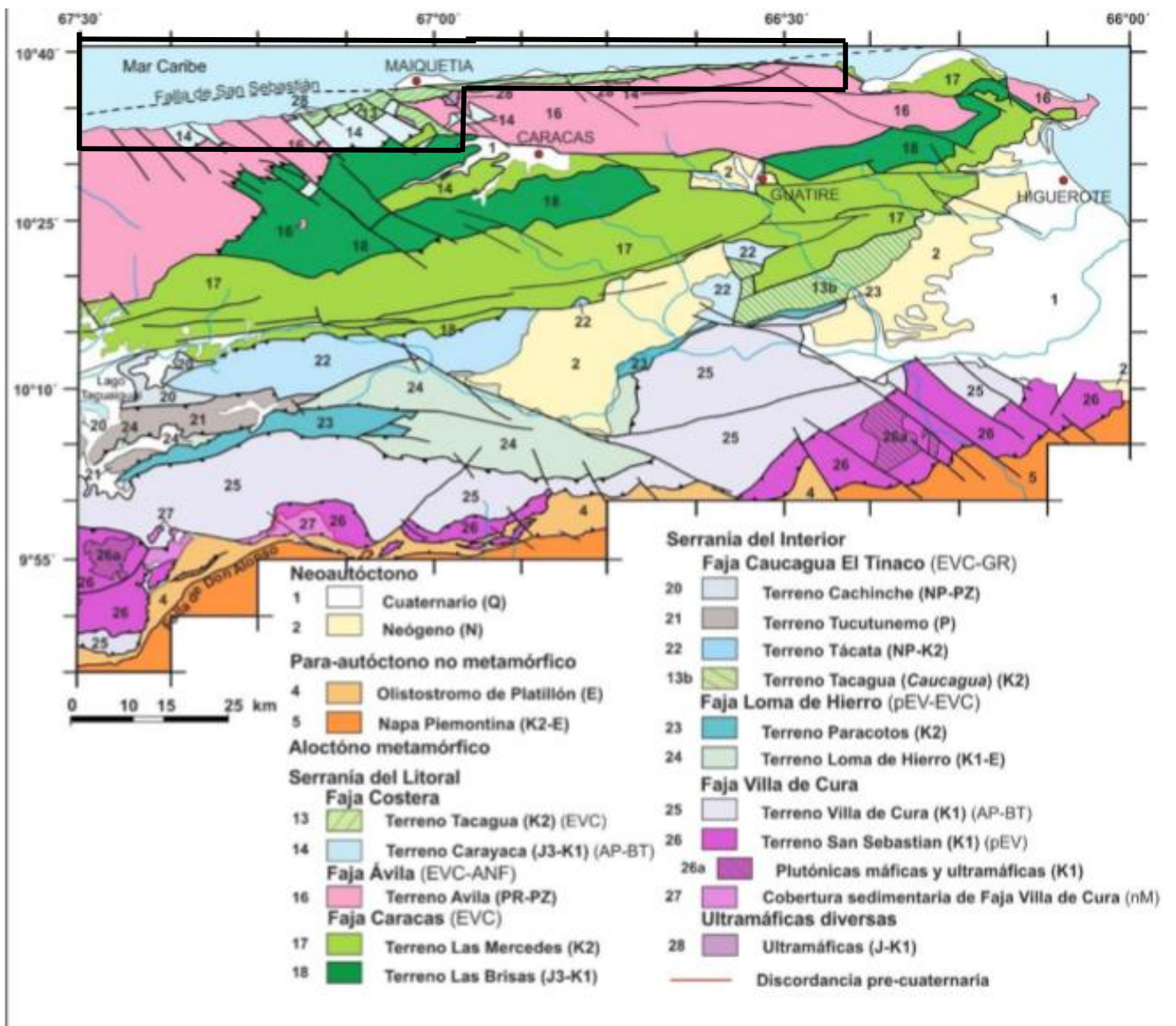


Figura 3.3. Mapa geológico simplificado de la zona oriental de la CdIC. El recuadro en negro señala el área de estudio. Tomado y modificado de URBANI (2018).

A continuación, se describirán las diferentes litologías encontradas en la zona descritas de sur a norte de la región.

### III.2.2.1 Faja Ávila (Mesoproterozoico-Paleozoico)

#### III.2.2.1.1 Terreno Ávila

URBANI (2002) explica que corresponde a unidades típicas de un margen pasivo continental, de basamento exhumado. La localidad tipo (macizo del Ávila), muestra una estructura tipo horst que es controlado principalmente por las fallas San Sebastián, Ávila y Macuto.

Además, asegura que individualmente, las unidades son en su mayoría cuerpos metaígneos de composición granítica, de granulometría diversa, que luego de su deformación ha permitido la formación de varios tipos de gneis, incluyendo el augengneis. Dichas rocas graníticas están envueltas por rocas esquistosas de naturaleza metasedimentaria en su mayoría. Hay muchas intercalaciones generalmente concordantes de rocas máficas. En las rocas máficas es común encontrar anfíbol verde-azul, lo cual sugiere un metamorfismo de alta presión-baja temperatura. Esta asociación está constituida en su mayoría por elementos metaígneos félsicos con una cobertura metasedimentaria, tales como las partes del esquisto cuarzo-micáceo-grafitoso-granatífero, expuesto en la carretera vieja Caracas-La Guaira.

Pueden hallarse gran parte de estas litologías en las regiones media-altas de las cuencas. Además, este terreno constituye el núcleo de la cordillera de la Costa, por lo que sus litologías siempre afloran en zonas muy abruptas de la topografía y con grandes pendientes.

#### III.2.2.1.1.1 Augengneis de Peña de Mora

Se encuentra ubicado prácticamente en toda las zonas altas de la cordillera de la Costa, desde la zona de El Cambur en el estado Carabobo (oeste) hasta cerca de Chirimena en el estado Miranda (este) de una edad relativa de 1700 MA ubicando la unidad en la era mesoproterozoica.

Según GONZÁLES DE JUANA *et al.* (1980) la unidad está constituida por gneises de grano fino a medio, augengneises gruesos y bandeados, algunas cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo muscovíticos y ocasionalmente anfibolitas.

En algunos sectores se encuentran rocas ultramáficas en forma de cuerpos dispersos. La litología característica son gneises subdivididos en tres tipos:

- Gneises de grano fino a medio, plagioclásico cuarzo muscovítico
- Augengneises y gneises muy gruesos, bandeados, cuarzo plagioclásicos microclínicos
- Gneises de grano fino a medio, cuarzo plagioclásico epidótico biotíticos, asociados a rocas anfibólicas.

#### III.2.2.1.1.2 Complejo de San Julián

A partir de un trabajo detallado en el macizo de El Ávila por OSTOS (1981), este autor pudo cartografiar al augengneis como una unidad separada a los demás tipos de rocas que anteriormente se incluían dentro de Peña de Mora. Es por ello por lo que URBANI y OSTOS (1989) proponen volver al nombre original, propuesto por AGUERREVERE ZULOAGA (1937), de Augengneis de Peña de Mora para referirse únicamente a cuerpos dispersos de gneis de grano grueso, mientras se propone el nombre de Esquisto de San Julián para incluir las litologías esquistosas y gnéisicas que lo circundan.

URBANI & OSTOS (1989) son señalados en URBANI (2000) como la referencia original para esta unidad, siendo su localidad tipo la quebrada San Julián o río San Julián, cuyos nacientes se encuentran en la Silla de Caracas desembocando en el mar Caribe en la zona de Caraballeda. Esta unidad se ha extendido hacia la zona de El Cambur, en el estado Carabobo (oeste) hasta Cabo Codera, estado Miranda (este).

URBANI (2000) describe que las rocas predominantes son: el esquisto de color gris a gris oscuro con tonalidades verdes que meteorizan a tonos pardos y los cuales se presentan usualmente bien foliados. Además de ellos se presenta el gneis cuarzo plagioclásico micáceo, con una rápida gradación desde textura esquistosa hasta rocas de carácter gnéisico. Los gneises muestran colores más claros que los esquistos, por cuanto su textura se debe fundamentalmente a la mayor proporción de feldespatos y menor de filosilicatos.

Las litologías minoritarias (< 5%) la constituyen mármol, cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas, mayoritariamente máficas (anfíbolita, gabro) y diorita, tonalita y granodiorita. En ciertas zonas donde aflora gneis cuarzo plagioclásico micáceo se desarrollan texturas marcadamente porfidoblásticas que pueden llegar a enmascarar la foliación.

Es importante destacar que esta unidad es la mayoritaria en toda la zona de estudio.

#### III.2.2.2 Faja Caracas (Paleozoico-Cretácico)

MORALES (2017) hizo un buen trabajo al recopilar y resumir la información descrita por URBANI (2000) indicando que la Faja Caracas está constituida por rocas de origen sedimentario, con dos unidades principales: Esquisto Las Brisas y Esquisto Las Mercedes. Las rocas del Esquisto de Las Brisas corresponden a sedimentos de ambientes plataformales de aguas poco profundas, mientras que, para el Esquisto de Las Mercedes, hubo ambientes marinos de aguas más profundas y a veces anóxicas, con ocasionales cuerpos de arena aportados por flujos turbidíticos. El metamorfismo de toda la Asociación alcanza la facies del esquisto verde, zona de la clorita, con algunos pocos lugares con trazas de biotita o granate. La sedimentación ocurrió en un ambiente de margen continental pasivo, como una cobertura sobre un basamento granítico poco expuesto, como lo es el Gneis de Sebastopol, que pudiera corresponder al margen de la placa suramericana sobre la extensión del cratón de Guayana.

URBANI (2018) describe que, en trabajos previos, las unidades Las Brisas y Las Mercedes fueron consideradas incluidas en el Grupo Caracas por DENGO (1951) o Asociación Metasedimentaria Caracas por URBANI (2000), pero a partir de nuevo trabajo de campo y el reexamen de datos cartográficos y petrográficos revela que los contactos entre ambas unidades son tectónicos.

Gracias a estos últimos estudios recopilados por URBANI (2018) se considera a Las Brisas y Las Mercedes como terrenos separados, aun cuando los protolitos de ambas unidades se hayan formado en el mismo tiempo.

### III.2.2.2.1 Terreno Las Mercedes

Este Terreno se extiende en forma continua desde Cabo Codera hasta Tinaquillo y contiene dos unidades formales: El Esquisto de Las Mercedes, compuesto por esquisto grafitoso cuarzo muscovítico carbonático, también esquisto carbonático que grada a mármol masivo. La presencia omnipresente de grafito apunta a una sedimentación en una cuenca con condiciones anóxicas. La segunda unidad es el Esquisto de Chuspita, igualmente con esquisto grafitoso, alternando con niveles de metarenisca de espesores centimétricos a decimétricos, sugiriendo un ambiente turbidítico.

#### III.2.2.2.1.1 Esquisto Las Mercedes

AGUERREVERE y ZULOAGA (1937) son los primeros en introducir el nombre de esquisto Las Mercedes para referirse a una secuencia de esquisto calcáreo-grafitoso de la parte central de la cordillera de La Costa.

URBANI (2004) Indica que una de las características principales del esquisto Las Mercedes es la presencia de pirita, que, al meteorizar, infunde una coloración rojiza en sus alrededores, en afloramientos al menos algo meteorizados hay la constante presencia de vetas de calcita blanca.

Esta unidad se encuentra aflorando en una extensa franja, fundamentalmente al sur de la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa, siendo incluso encontrada en zonas cercanas al pueblo de Chuspa.

TALUKDAR Y LOUREIRO (1982) sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico, donde la estructura finamente laminada de la caliza, indica la sedimentación en un ambiente pelágico.

#### III.2.2.2.2 Terreno Las Brisas

URBANI (2018) el terreno Las Brisas incluye la unidad del esquisto Las Brisas y además cuerpos de dimensiones métricas a hectométricas de mármol, mayormente dolomítico interpretado como “mega budines”.

Dentro de esta unidad también aparecen cuerpos metaconglomerados conocidos informalmente como metaconglomerado de Baruta y La Mariposa.

#### III.2.2.2.1 Esquisto Las Brisas

La primera referencia a esta unidad se encuentra en AGUERREVERE y ZULOAGA (1937), nombrando la litología como “conglomerado Las Brisas”, para posteriormente redefinirla como Formación Las Brisas. Sin embargo, siempre hubo mucha discusión sobre las relaciones entre las Formación Las Brisas y Peña de Mora, pero esta controversia se detiene cuando URBANI y OSTOS (1989) separan como una unidad diferente al esquisto cuarzo feldespático micáceo, del macizo de El Ávila como su Esquisto de San Julián, restringiendo la Formación Las Brisas al esquisto cuarzo moscovítico feldespático.

Esta unidad se extiende geográficamente a lo largo del macizo central de la cordillera de La Costa, entre el cabo Codera y el graben del río Yaracuy.

DENGO (1951) observa que la mayor parte de la unidad, está constituida por esquisto cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas. TALUKDAR y LOURERIO (1982) analizan exhaustivamente los tipos litológicos, en un área reducida de la cordillera de La Costa, sin relacionarla con las formaciones tradicionales, estableciendo la dificultad e inconveniencia en el uso de unidades litoestratigráficas, en estudios detallados de rocas metamórficas.

#### III.2.2.3 Faja Costera (Cretácico)

##### III.2.2.3.1 Terreno Tacagua

URBANI (2018) explica que su única unidad es el Esquisto de Tacagua que aflora como una franja delgada paralela a la costa. Está constituido por esquisto / filita gris negruzco (cuarzo muscovítico-grafítico) con intercalaciones de esquisto de color verde claro (epidótico-actinolítico-clorítico). También hay niveles carbonáticos oscuros-azulados que pueden corresponder a mármol puro o a esquisto / filita ricos en carbonatos. La proporción de elementos volcánicos (roca verde) es muy variable, de manera que algunos afloramientos están constituidos solo de esquisto grafitoso, mientras que otros únicamente de metatoba y rara metalava. Pero, más común, es que los niveles verdes volcánicos y los pelíticos grafitosos están intercalados a escala milimétrica a centimétrica.

### III.2.2.3.1.1 Esquisto Tacagua

DENGO (1951) designa con este nombre a una secuencia alternante de esquistos calcáreo grafitoso y esquisto epidótico, expuestos en el valle de la quebrada de Tacagua, estado La Guaira, considerándola parte de su grupo Caracas. Estos cuerpos son solo aquellos donde hay un predominio claro de rocas verdes epidóticas, interpretadas como tobas andesíticas interestratificadas.

NAVARRO *et al* (1988) redefine esta unidad como fase Tacagua de su complejo La Costa, separándolo del grupo Caracas. Siguiendo estos criterios URBANI y OSTOS (1989) resumen la cartografía geológica de la Cordillera de La Costa desde Puerto Cruz, estado La Guaira, hasta Cabo Codera, estado Miranda, mostrando una franja de afloramientos de esta unidad.

URBANI (2000) describe que la unidad se extiende desde Oricao hasta Naiguatá, con un ancho medio de unos 2 km. En la zona de la localidad tipo, los afloramientos se extienden casi paralelamente al valle de la quebrada Tacagua, desde Mamo hasta cerca del viaducto 1 de la autopista Caracas - La Guaira.

URBANI (2000) describe que en los afloramientos de la zona costera del litoral central, se encuentra una asociación de esquisto albitico calcítico cuarzo micáceo grafitoso, de color gris oscuro, semejantes a aquellos descritos como típicos de la Formación Las Mercedes, intercalados concordantemente con esquisto de color verde claro, constituido por cuarzo, albita, minerales del grupo del epidoto, así como clorita y muscovita. También se ha descrito que contienen cantidades menores o trazas de hematita, calcita, pirita, anfíbol y granate; adicionalmente se han reportado cuerpos de anfibolita epidótica, que han sido interpretadas como metalavas máficas.

### III.2.2.3.2 Terreno Carayaca

URBANI (2018) las rocas de Alta Presión – Alta Temperatura como los esquistos azules y las eclogitas son fundamentales para entender los procesos de subducción que ocurren en las zonas de colisión entre placas. En Venezuela, estos tipos de rocas afloran en la isla de Margarita y en la zona costera de la Cordillera de La Costa.

Con la intención de incluir las rocas eclogíticas encontradas en Puerto Cabello, URBANI (2000) consideró a toda la “Formación Nirgua” como una unidad subducida, pero, gracias a estudios realizados en la última década (Hernández 2014) se ha encontrado que la unidad en su localidad tipo no muestra asociaciones mineralógicas



metamórficas de rocas que hayan sufrido Altas Presiones y Baja Temperatura, por lo que URBANI (2018) decidió separar el área en: Complejo Nirgua (que nunca fue subducido) con localidad tipo en Nirgua y el Complejo Carayaca (una unidad subducida y predominante del terreno del mismo nombre).

#### III.2.2.3.1.2 Complejo Carayaca

Este complejo fue descrito anteriormente como “Complejo Nirgua” pero debido a nuevas evidencias URBANI (2018) decidió separarlo. A continuación, se describe las litologías encontradas en la zona del Terreno Carayaca.

OSTOS (1981) en el macizo de El Ávila, menciona la presencia de anfibolitas granatíferas, esquistos actinolíticos, anfibolita epidótica, mármol cuarcífero y gneis feldespático.

TALUKDAR Y LOURERIO (1982) y OSTOS (1990) observan que en la zona de Oricao- Chichiriviche-Pto. Cruz, estado La Guaira, la unidad está constituida por anfibolita granatífera, serpentinita, esquistos cuarzo granatíferos feldespáticos biotíticos, mármol cuarcífero, además de encontrar en algunos otros lugares cuarcita y esquistos glaucofánicos. Las anfibolitas y los esquistos tienen porfidoclastos de granate de hasta 1 cm de diámetro.

Las rocas muy probablemente pasaron por dos etapas metamórficas, una de alta relación Presión / Temperatura (facies de la eclogita) y, posteriormente, una retrógrada de baja relación Presión / Temperatura de la facies de esquistos verdes.

#### III.2.2.4 Material Sedimentario

##### III.2.2.4.1 Formación La Playita

La unidad se restringe a la zona litoral del estado La Guaira, desde punta El Burro hasta las inmediaciones de Boca de Aricagua, pasando por punta Urama, hasta el Frontón del Fraile, siendo interrumpida por los aluviones de los ríos La Sabana, Caruao y Chuspa. La Formación La Playita suprayace discordantemente a los sedimentos marino-litorales de la Formación La Sabana y está cubierta por suelos y aluviones recientes.

TARACHE (1975) no establece sección tipo única, porque la unidad está constituida por secuencias litológicas de extrema variedad y la subdivide en dos facies.

La primera facies con sección tipo en el Frontón del Fraile, está constituida por conglomerados polimícticos y areniscas, grauvacas y arcosas de granulometría variable. Los conglomerados polimícticos son de tipo torrencial, con granulometría variable desde cantos rodados, hasta tamaño de arena, mal escogidos, angulares a subredondeados, compuestos de fragmentos de rocas metamórficas y cuarzo con matriz arenácea; dentro de las capas de conglomerados, es común observar lentes de areniscas grauváquica de grano fino. Las grauvacas conglomeráticas son friables, mal escogidas, de color gris oscuro, que meteorizan en verde azulado, con granos angulares a subangulares, de esquistos y gneises, cuarzo, micas y feldespatos. Las arcosas son de grano fino, friables, mal escogidas, de angularidad variable, entre angular y subangular, con fragmentos de rocas, cuarzo, mica y feldespato.

La segunda facies, con sección tipo en los cortes de carretera sobre 2 km al oeste de Caruaó, se caracteriza por presentar intercalaciones de limolitas, fanglomerados, conglomerados, lutitas y grauvacas. Las limolitas son de colores gris oscuro, friables, con espesores de capas entre 0,8 m y 4 m; hacia la base son arcillosas, mientras que hacia el tope se observan esporádicos gujarros finos. Los fanglomerados, por lo general, se presentan en forma de lentes con espesores variables de 0,5 m a 2 m, mal escogidos, de granulometría variable entre arcilla y tamaño de guijas, friables y meteorización a color pardo claro; los granos angulares a redondeados son de rocas metamórficas, mica, cuarzo y feldespato. Las lutitas son limosas, de color gris oscuro que meteorizan en gris claro-ocre, de consistencia poco consolidada, con laminación paralela y espesores variables, de 0,3 m a 3 m. Los conglomerados de gujarros son mal escogidos, de grano subangular a redondeado, de rocas metamórficas y cuarzo, con matriz arenácea. Las grauvacas son de grano medio y color gris que meteorizan en ocre, con granos angulares y subangulares, mal escogidos de esquistos, gneises y micas, en feldespatos y cuarzo.

#### III.2.2.4.2 Capas de La Sabana

Constituida por sedimentos terciarios suprayacentes a las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa, entre La Sabana y Chirimena, estado La Guaira. La unidad tiene su localidad tipo en el pueblo de La Sabana, entre Los Caracas y Chuspa, estado La Guaira, y se extiende a lo largo de la costa desde el oeste de La Sabana hasta Chirimena.

FEO-CODECIDO (1962) mencionó conglomerados, areniscas y arcillas margosas, posiblemente mio-pliocenas, expuestos en el flanco norte de la Cordillera de la Costa desde cerca de La Sabana hasta Chirimena, discordantes sobre la Formación Las Mercedes.

BOLLI y KRAUSE (1964) describieron limos mal consolidados, arenas mal escogidas y capas de guijarros, con intervalos delgados de lutitas limosas y lutitas de espesor desconocido; en cortes se miden hasta 3,5 metros. Las capas son discordantes sobre rocas metamórficas del Grupo Caracas, y no están cubiertas por estratos más jóvenes.

#### III.2.2.4.3 Grupo Cabo Blanco

El grupo Cabo Blanco descansa con marcada discordancia sobre rocas metamórficas del Grupo Caracas. Consiste en conglomerados basales, seguidos por capas arenáceas.

DE RIVERO (1956) propuso llamar grupo Cabo Blanco a conjunto de capas de edad Mioceno tardío – Pleistoceno, dividido en las formaciones Las Pailas, Playa Grande y Mare, en orden ascendente.

##### III.2.2.4.3.1 Formación Las Pailas

Ubicada en la región de Cabo Blanco, estado La Guaira. La Formación Playa Grande y todo el grupo Cabo Blanco está limitada a la región Cabo Blanco, estado La Guaira.

DE RIVERO (1956) describe que la formación consiste en conglomerados y arenisca no fosilífera de origen no marino que presentan indicios locales de estratificación cruzada, de colores gris y verdoso y en los afloramientos se nota un color blanquecino por meteorización, en contraste con los colores pardo amarillentos de la Formación Playa Grande suprayacente.

Según PICARD y GODDARD (1975), la parte inferior está compuesta de lodolitas, limolita y arenisca fina, intercalada con areniscas gruesas y conglomerados; la parte superior consiste principalmente de conglomerados y areniscas gruesas con intervalos ocasionales de sedimentos finos.

#### III.2.2.4.3.2 Formación Playa Grande

El nombre proviene de la urbanización Playa Grande, estado La Guaira. La Localidad tipo está en los acantilados del norte de la meseta de Playa Grande y sus sedimentos forman dicha meseta con un buzamiento regional suave al suroeste.

WEINSBORD (1957) es quien describió la unidad con mayor detalle y la dividió en dos miembros: Miembro Catia y Miembro Maiquetía.

WEINSBORD (1957) describe que el Miembro Catia es la sección mejor desarrollada del Grupo Cabo Blanco. Comienza con un conglomerado basal discordante sobre la Formación Las Pailas, seguido de limolitas y areniscas calcáreas lutitas, calizas coquinas que constituyen capas guías. Los colores marrón claro y amarillo quemado son característicos y persistentes.

WEINSBORD (1957) afirma que el Miembro Maiquetía comprende lutitas, limolitas, areniscas calcáreas y conglomerados, de color gris y pardo, expuesto por debajo de la Formación Mare.

#### III.2.2.4.3.3 Formación Mare

La localidad tipo de la Formación Mare, se encuentra en la quebrada Mare, detrás del caserío Mare Abajo al norte del aeropuerto de Maiquetía.

DE RIVERO (1956) nombró y describió la Formación Mare, como la unidad más joven del Grupo Cabo Blanco.

DE RIVERO (1956) describe que la Formación Mare comienza con 3-4 m de asperones o gravas friables de grano fino, que pasan hacia arriba a arenas de grano progresivamente más fino; su parte superior se compone de limos consolidados homogéneos de colores grises y pardos claros, muy fosilíferos, excepto en la parte superior extrema.

Tabla 3.3 Resumen de las unidades aflorantes en la zona de estudio

SERRANÍA	UNIDAD LITOLÓGICA	FAJA	TERRENO/GRUPO	UNIDAD/FORMACION
Serranía del Litoral	Material Sedimentario	-	-	Formación La Playita
		-	Grupo Cabo Blanco	Formación Las Pailas
				Formación Playa Grande
				Formación Mare
	Rocas Metasedimentaria	Caracas		Terreno Las Mercedes
			Terreno Las Brisas	Esquisto Las Brisas
	Rocas Igneo-Metamórficas	Costera	Terreno Tacagua	Esquisto Tacagua
			Terreno Carayaca	Complejo Carayaca
		Ávila	Terreno Ávila	Complejo San Julián
				Augengneis de Peña de Mora

Tabla 3.3. Unidades de la Serranía del Litoral que afloran en la región.

### III.2.3 Geología estructural

#### III.2.3.1 Geología estructural del norte de Venezuela

La evolución del norte de Venezuela ha sido tema de estudio para múltiples investigadores, destacando los que lo han hecho por medio de modelos tectónicos, entre los que sobresalen Bell (1972), Maresch (1974), Talukdar *et al* (1981), Talukdar & Loureiro (1982), Navarro (1983) y Ostos & Navarro (1985).

TALUKDAR & LOUREIRO (1982) proponen una historia estructural activa desde el inicio del Cretácico, enfatizándose en la orientación de la subducción hacia el norte, luego ocurre la colisión del arco de islas con el margen continental lo que produce la deformación del complejo de subducción. Entre el Turoniense y Cenomaniense se produce la inversión en el rumbo de la subducción, iniciándose en un sentido norte-sur, y al mismo tiempo se inician los corrimientos hacia el sur de napas de composición ofiolítica, del arco volcánico y del complejo de subducción.

OSTOS (1989) propone un modelo tectónico en el que todo el sistema montañoso del Caribe, incluyendo las islas venezolanas, holandesas y la plataforma continental, son alóctonas, y su deformación es producto de dos colisiones: Una colisión temprana de un microcontinente con un arco de islas y luego otra colisión entre el sistema de arcos de islas del Caribe y el noroeste de Sudamérica. Indica también que el sistema montañoso del Caribe (SMC), incluyendo las islas venezolanas, holandesas y la plataforma continental, pudieron estar juntas sobrecabalgando la placa Suramericana. Concluye que la deformación del Cretácico en los cinturones alóctonos del norte de Venezuela ocurrió en otro lado.

PINDELL y KENNAN (2001) plantean un origen para el Caribe basándose en la teoría del Pacífico, que propone la formación de la placa Caribe en el océano Pacífico, derivándose de la placa Farallón, en el Mesozoico Superior, justamente en el punto caliente de los Galápagos, la cual posteriormente se desplazó por deriva continental hacia el este un aproximado de 1000 km, hasta su ubicación actual.

### III.2.3.1 Geología estructural de la Cordillera de La Costa

Tabla 3.4 Modelos de la evolución tectónica en el estado La Guaira

AUTOR	AÑO	PROPUESTA
DENGO	1951	Describe su área de estudio comprendida por el Macizo Ávila y la autopista Caracas-La Guaira, donde encontró sistemas de fallas en sentido E-W, fallas de rumbo N60°W y buzamiento hacia el sur y norte, además de pliegues simétricos. Define que la estructura planar más acentuada y mayormente distribuida es la foliación, la cual es paralela a la estratificación.
MENENDEZ	1966	Registra varios sistemas de fallas para la faja de la Cordillera de La Costa, siendo uno de ellos el sistema de fallas de La Victoria, que luego sería el límite entre las fajas de la Cordillera de La Costa y Caucagua-El Tinaco.
ASUAJE	1972	Indica que el rumbo de la Cordillera de La Costa se debe a fuerzas compresivas N-S a NW-SE, las cuales producen las fallas longitudinales. Por su parte, las fallas transversales se originan a partir de los esfuerzos tensionales paralelos al rumbo de la cordillera
TALUKDAR y LOUREIRO	1982	Dirigen su estudio al segmento norcentral de la Cordillera de La Costa, reconociendo tres sistemas de fallas. El primer sistema con rumbo E-W, otro con rumbo N10-60°W, y un tercer sistema con rumbo N40-70°E. Además, determinan cuatro fases de plegamiento, siendo el primero inducido de la teoría sin ser observado en práctica. Por su parte la foliación encontrada es de N70-80E.
OSTOS	1990	Propone un modelo de evolución tectónico del margen surcentral del Caribe basándose en datos geoquímicos, en el cual menciona que la parte norte de Venezuela está compuesta por siete cinturones tectonoestratigráficos con un rumbo aproximado este-oeste, entre los cuales en dirección norte-sur se tienen el de la Cordillera de La Costa y el de

		Caucagua-El Tinaco. En este modelo explica el origen de los cinturones, los cuales establece como alóctonos y que fueron deformados como el resultado de una colisión entre un microcontinente (Sebastopol) y el noroeste de Sudamérica.
AUDEMARD <i>et al.</i>	1995	Establece que el sistema de falla de La Victoria, de dirección WNW-ESE y longitud cercana a los 350 km, constituye un accidente estructural complejo, caracterizado por un solapamiento dextro de cinco fallas individuales dispuestas “en échelon” y por el desarrollo de cuencas tectónicas de gran tamaño, como la cuenca del Lago de Valencia. Por la disposición geométrica de las trazas de esas fallas sugiere que la cuenca del lago podría haber sido generada de acuerdo con un modelo tectónico de cuenca de tracción compuesta, como resultado de la integración de varias estructuras romboédricas dispuestas “en échelon”. Señalan además que la velocidad de desplazamiento del sistema de fallas de La Victoria es variable, siendo máximo al nivel del Lago de Valencia (1,1 mm/a) y disminuye progresivamente hacia sus extremos donde la velocidad se reduce ostensiblemente (hasta valores cercanos a 0,4 mm/a).

Tabla 3. 4. Propuestas de los distintos modelos de evolución tectónica de la Cordillera de la Costa.  
Tomado y modificado de MORALES (2017).



## CAPITULO IV. RESULTADOS

### IV.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA FASE INICIAL DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

En la primera etapa de este trabajo se realizó el análisis de distintos trabajos académicos, revisión de base de datos, documentos históricos y revistas.

Toda la información recopilada, se organizó con la intención de generar una base de datos con la ubicación del material a estudiar, para así facilitar su búsqueda. Ésta base de datos incluye: ubicación con coordenadas, descripciones litológicas y descripciones mineralógicas (de existir).

La principal fuente de información de donde se extrajeron la mayoría de los puntos de estudio fue del T.E.G “Secuencia sedimentaria terciaria del área de La Sabana” de la Ingeniera geóloga Crisalida Tarache del año 1975.

En dicho trabajo se resaltan los análisis por medio de DRX a una cantidad de seis (6) muestras, las cuales fueron sometidas a distintos ensayos con el fin de obtener unos resultados más precisos.

El método utilizado para la separación de arcillas fue el de saturación y calentamiento, en donde la muestra selecciona es saturada en soluciones enriquecidas en K y Mg para luego realizar la difracción de DRX a una temperatura de 25°C y otra a 550°C.

Tabla 4.1 Mineralogía por DRX y ubicaciones relativas. Recuperado de TARACHE 1975

Localización	Muestra	Mineralogía DRX	Ensayos				Descripción
			K <sup>+</sup> 25°C	K <sup>+</sup> 550°C	Mg 25°C	Mg 550°C	
Pta El Burro	DF-5000 A	Caolinita	✓	✓	✓	✓	Grauvaca gris meteoriza a blanco
	DF-5009 B	Caolinita y montmorillonita	✓	✓	✓	✓	Grauvaca gris, meteoriza a ocre
Pta Cerros-Los Chivitos	DF-5021	Caolinita	✓	✓	✓	✓	Lutita micácea

Carretera Caruao-La Sabana	DF-5046 C	Caolinita y Montmorillonita	✓	✓	✓	✓	Lutita micácea
Paramancito	DF-5058	Caolinita y Montmorillonita	✓	✓	✓	✓	Lutita micácea
Carretera Caruao-Chuspa	P-5016 A	Caolinita	✓	✓	✓	✓	Lutita limosa

Tabla 4.1 con las ubicaciones relativas de las muestras analizadas por TARACHE (1975)

## IV.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ETAPA DE MUESTREO DE CAMPO

En esta etapa, se obtuvieron los siguientes resultados, respecto a las zonas visitadas.

Tabla 4.2 Coordenadas y ubicación de los sitios de muestreo en campo.

ZONA	NÚMERO	ETIQUETA	COORDENADAS UTM		ALTURA (msnm)
			COORD N	COORD E	
LA SABANA	1B	NWLS-SUB-001	1175252	786281	26,7
	2	NWLS-SEB-002	1175289	785919	8,27
	3B	NWLS-SUB-003	1175359	785328	14,85
	4B	NWLS-SUB-004	1175394	785205	19,46
	5B	NWLS-SUB-005	1175454	784851	42,94
	6	NWLS-SEB-006	1175673	784235	15,73
	7B	NWLS-SUB-007	1175824	783871	23,08
	8B	NWLS-SUB-008	1175811	783739	21,88
	9B	NWLS-SUB-009	1175744	783936	11,39

	10	NWLS-SEC-010	1175795	784236	38,96
	18 (2B)	NWLS-SUB-018	1175450	786515	-
	19 (4B)	NWLS-SUB-019	1174794	786794	-
CHUSPA	11	NECH-SEC-011	1174802	793878	9,8
	12	NECH-SEC-012	1174809	793873	15,65
	13B	NECH-SUC-013	1174808	793708	4,61
	14C	NECH-SUC-014	1174561	792770	36,37
	15	NECH-SEB-015	1174489	792643	24,49
	16B	NECH-SUB-016	1174516	792468	39,08
	17B	NECH-SUB-017	1174302	792081	24,32
	20 (6B)	NECH-SEC-020	1174808	795871	-
	21 (7B)	NECH-SEB-021	1174772	793794	53
	22 (8B)	NECH-SUB-022	1174875	793763	25
	23 (5B)	NECH-SUB-023	1174577	794326	-

Tabla 4.2 Ubicación de los puntos de muestreo

En la siguiente tabla, se hacen las observaciones y reportes de cada uno de los sitios visitados donde se recolectaron muestras. En el anexo B, se puede apreciar un registro fotográfico de cada una de las zonas visitadas y las planillas de campo (anexo C), con información adicional y más detallada.

Tabla 4.3 Observaciones y reporte de los sitios de muestreo

ZONA	ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
LA SABANA	NWLS-SUB-001	50-150	Color: Gris con intercalaciones de un material de color pardo Textura: Material lutítico con presencia de arena	Material lutítico con una pequeña porción de arena y laminaciones de óxido. Presenta horadaciones.
	NWLS-SEB-002	-	Color: Gris oscuro Textura: Arenosa	Pasando la zona conocida como "El Faro" fue posible identificar material aeno-arcilloso, en la base de areniscas conglomeráticas

NWLS-SUB-003	10-80	Color: Gris pardusco Textura: Arcillo limosa	Material no consolidado. La toma de muestra se realizó cerca de una construcción. Dicho punto se encuentra ubicado en un lugar muy amplio (posible llanura de inundación)
NWLS-SUB-004	15- 60	Color: Gris claro Textura: arcilloso	Mucha presencia de material Micáceo y grafitoso
NWLS-SUB-005	100-120	Color: Marrón pardusco Textura: Limo-arcillosa	El punto de muestreo es una cantera donde es posible observar una alternancia arcillo limosa
NWLS-SEB-006	25-30	Color: Gris claro Textura: Arcillosa	Casi llegando a las capas identificadas como Formacion La Sabana encontramos cuerpos sedimentarias en donde destacan

			una intercalación de arenisca con lutita
NWLS-SUB-007	20- 40	Color: Gris claro con pequeños tonalidades de marrón Textura: Fango arcilloso	Muestra recolectada en una hacienda donde es posible observar un alto nivel freático
NWLS-SUB-008	25- 100	Color: Marrón grisáceo Textura: Arcilloso	El sitio de muestreo no presento variaciones en los horizontes excavados (aproximadamente 90cm)
NWLS-SUB-009	25- 70	Color: Gris pardusco Textura: Arcilloso	Presenta niveles de oxidación y bastante materia orgánica
NWLS-SEC-010	25-30	Color: Gris claro Textura: Arcillo arenosa	Se observa la presencia de grandes clastos
NWLS-SUB-018	25- 35	Color: Naranja Textura: Limo-arcilloso	Es posible observar la presencia de pequeños cantos de cuarzo
NWLS-SUB-019	25-60	Color: Amarillo pardusco Textura: Arena limoarcillosa	Presencia de clastos en la muestra

CHUSPA	NECH-SEC-011	150-200	Color: Gris con tonalidades pardas Textura: Arcillo arenosa	Zona urbanizada. Se observa un deslizamiento prominente.
	NECH-SEC-012	60-100	Color: Gris claro Textura: Arcillo arenosa	Zona urbanizada. La muestra presentaba una coloración grisácea con intercalaciones de color pardo
	NECH-SUC-013	200-300	Color: Marrón claro Textura: Arcilla limo-arenosa	Subiendo el pueblo de Chuspa se observa un espesor de suelo cercano a 3 metros. Es importante destacar que el material es muy poco competente
	NECH-SUC-014	15-100	Color: Gris Textura: Arcilla arenosa	El material recolectado fue extraído de una vía rural donde la misma no se encontraba pavimentada
	NECH-SEB-015	15-25	Color: Marrón con pequeñas tonalidades grises Textura: Arcillo arenosa	Presenta costras de oxidación muy notorias

NECH-SUB-016	10-30	Color: Gris oscuro Textura: Arcillo arenosa	Se observa la presencia de pequeños clastos
NECH-SUB-017	30-40	Color: Gris oscuro Textura: Arcillo arenosa	Destaca una importante capa vegetal que tuvo que ser retirada para poder recolectar la muestra
NECH-SEC-020	20-40	Color: Gris oscuro Textura: Arcillosa	Alternancia de niveles conglomeráticos con espesores lutíficos que se encuentran meteorizados
NECH-SEB-021	25-40	Color: Marrón claro Textura: Arcillo limosa	Talud de corte donde es posible observar una alta meteorización
NECH-SUB-022	25-40	Color: Gris oscuro Textura: Arcillosa	Coloraciones naranjas en las zonas más profundas
NECH-SUB-023	30-40	Color: Marrón oscuro Textura: Arcilla arenosa	Presencia de cantos rodados

Tabla 4.3 Descripción de los sitios de muestreo



### IV.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA DE LABORATORIO

Cada una de las muestras (23) recuperadas en la etapa de muestreo de campo fueron analizadas en el laboratorio.

A continuación, se muestran los resultados mineralógicos y el tipo de estudio al que fueron sometidas todas las muestras recolectadas.

#### IV.3.1 Resultados por zonas de interés

Tabla 4.4 Composición mineralógica obtenida por DRX

ZONA	ETIQUETA	ENSAYO			MINERALOGÍA OBTENIDA POR DRX
		ROCA TOTAL	ORIENTADA	GLICOLADO	
LA SABANA	NWLS-SUB-001	✓	✓	✓	Cuarzo; Ilita; Albita
	NWLS-SEB-002	✓	✓	✓	Cuarzo; Albita; Ilita; Caolinita
	NWLS-SUB-003	✓	✓	✓	Cuarzo; Mulita; Mcgilita; Ilita
	NWLS-SUB-004	✓	✓	✓	Cuarzo; Albita; Grafito; Ilita; Caolinita; Montmorillonita
	NWLS-SUB-005	✓			Cuarzo; Grafito; Albita
	NWLS-SEB-006	✓	✓	✓	Cuarzo; Kaolinita; Enstatita; Flogopita; phillipsita; Montmorillonita
	NWLS-SUB-007	✓	✓	✓	Cuarzo; Ilita; Flogopita; Clinocloro; Glauconita; Silimanita
	NWLS-SUB-008	✓	✓	✓	Cuarzo; Albita; Ilita; Silimanita; Phillipsita; Vermiculita
	NWLS-SUB-009	✓	✓	✓	Cuarzo; Albita; Anortita; Pennantita; Flogopita; Glauconita; Caolinita

	NWLS-SEC-010	✓	✓	✓	Cuarzo; Albita; Ilita; Flogopita; Grafito; Glauconita; Caolinita
	NWLS-SUB-018	✓	✓		Cuarzo; Caolinita-Montmorillonita; Grafito; Caolinita
	NWLS-SUB-019	✓	✓		Cuarzo; Grafito; Ilita; Montmorillonita
CHUSPA	NECH-SEC-011	✓	✓	✓	Cuarzo; Grafito; Muscovita; Albita; Buserita; Ilita; Silimanita; Caolinita; Montmorillonita
	NECH-SEC-012	✓	✓	✓	Cuarzo; Anortita; Ilita; Caolinita; Muscovita; Montmorillonita; Vermiculita
	NECH-SUC-013	✓	✓	✓	Cuarzo; Grafito; Muscovita; Ilita; Caolinita; Monmorillonita
	NECH-SUC-014	✓	✓	✓	Cuarzo; Alurgita; Ilita; Caolinita
	NECH-SEB-015	✓	✓	✓	Cuarzo; Ilita; Muscovita; Caolinita
	NECH-SUB-016	El material recolectado no cumplió con el requisito de granulometría menor a las 200 micras, por lo que fue excluido de los análisis en DRX.			
	NECH-SUB-017	✓	✓	✓	Cuarzo; Muscovita; Grafito; Caolinita-Montmorillonita; Caolinita; Ilita; Montmorillonita
	NECH-SEC-020	✓			Cuarzo; Grafito; Muscovita; Montmorillonita; Caolinita-Montmorillonita

NECH- SEB-021	✓	✓		Cuarzo; Muscovita; Ilita; Caolinita-Montmorillonita; Montmorillonita
NECH- SUB-022	✓			Cuarzo; Ilita
NECH- SUB-023	✓			Cuarzo; Ilita

Tabla 4.4 Tipo de ensayos realizados a cada una de las muestras y su composición mineralógica obtenida por DRX

## CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SÍNTESIS

### V.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES OBSERVADAS EN CAMPO

#### V.1.1 Descripción de los sitios de muestreo

De manera general, los lugares donde fueron tomadas las muestras corresponden a la franja costera denominada “Cordillera de la Costa”. Esta zona se caracteriza por tener una gran cantidad de acumulación de sedimentos *in situ*. La zona presenta gran cantidad de afluentes, siendo el más importantes el río “La Sabana”.

La mayoría de los sitios de muestreo resaltan por ser zonas muy amplias con baja pendiente, los cuales son destinadas para la construcción de grandes edificaciones y haciendas para el cultivo y cría de animales.

Durante las salidas de campo, el estado del tiempo fue nublado por lo que era notable la existencia de humedad en los suelos con presencia de material arcilloso, mientras que en los suelos con textura arenosa la humedad no estaba presente.

#### V.1.2 Descripción de los perfiles

Las excavaciones realizadas tuvieron una profundidad promedio de 60-80 cm, con una toma de dato a los 45 cm (posible horizonte BC).

En los primeros 15 cm (Horizonte A) era común encontrar una capa compuesta por materia orgánica (raíces), a menudo con textura limo-arenosa de color marrón oscuro; estos espesores aumentaban o disminuían dependiendo de la zona. Es importante destacar que en algunas zonas durante este intervalo se encontró material de relleno.

Después de los 25cm de profundidad los colores del suelo tendían a ser más grisáceos, con pequeñas tonalidades pardas (naranja, rojizo); era común encontrar pequeños fragmentos de cuarzo. Tras los ensayos *in situ*, muchos de los suelos tenían comportamiento plástico, en particular los recolectados en la zona de Chuspa.

Figura 5.1 Calicata para recolección de la muestra NWLS-SUB-001



Figura 5.1 Calicata realizada en el pueblo de La Sabana en el sector conocido como "El Faro". La profundidad alcanzada en esta perforación fue de aproximadamente 150 cm.

## V.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIONES DE LOS RESULTADOS MINERALÓGICOS A TRAVÉS DE DRX Y LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DESCRITAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

### V.2.1 La Sabana

#### V.2.1.1 Análisis de muestras

**Muestra:** NWLS-SUB-001

- Ensayo Roca Total

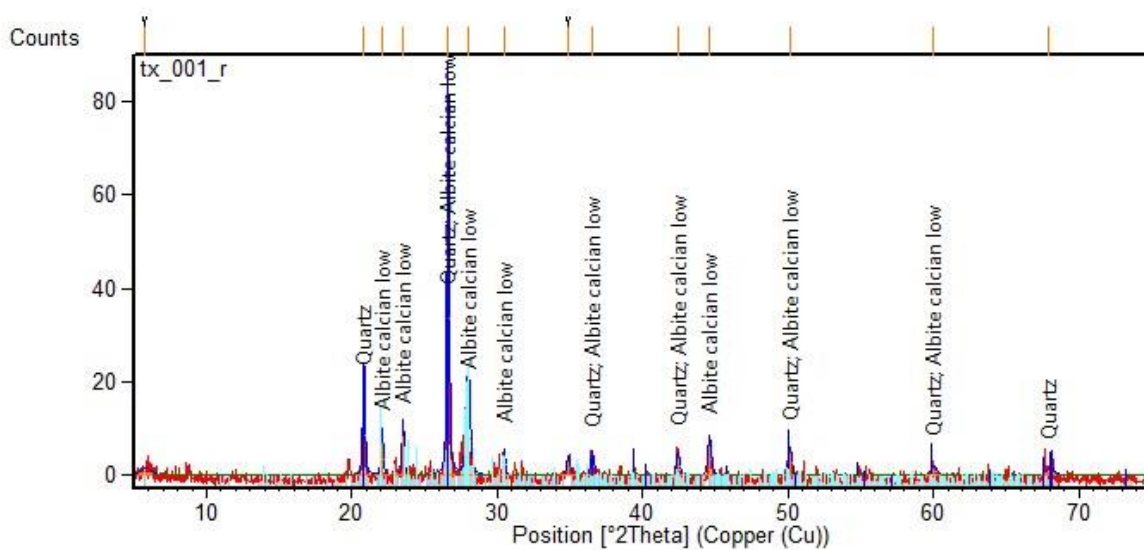


Figura 5.2 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-001

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Albite cálcica

- Ensayo Orientado

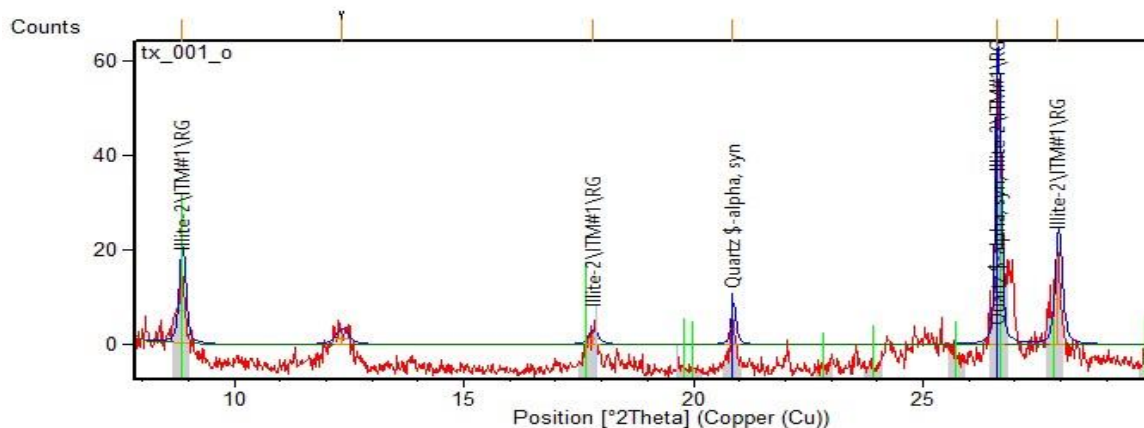


Figura 5.3 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-001

## Mineralogía DRX: Cuarzo Alfa, Illita 2M<sub>1</sub>

- Etilenglycol vs Orientado

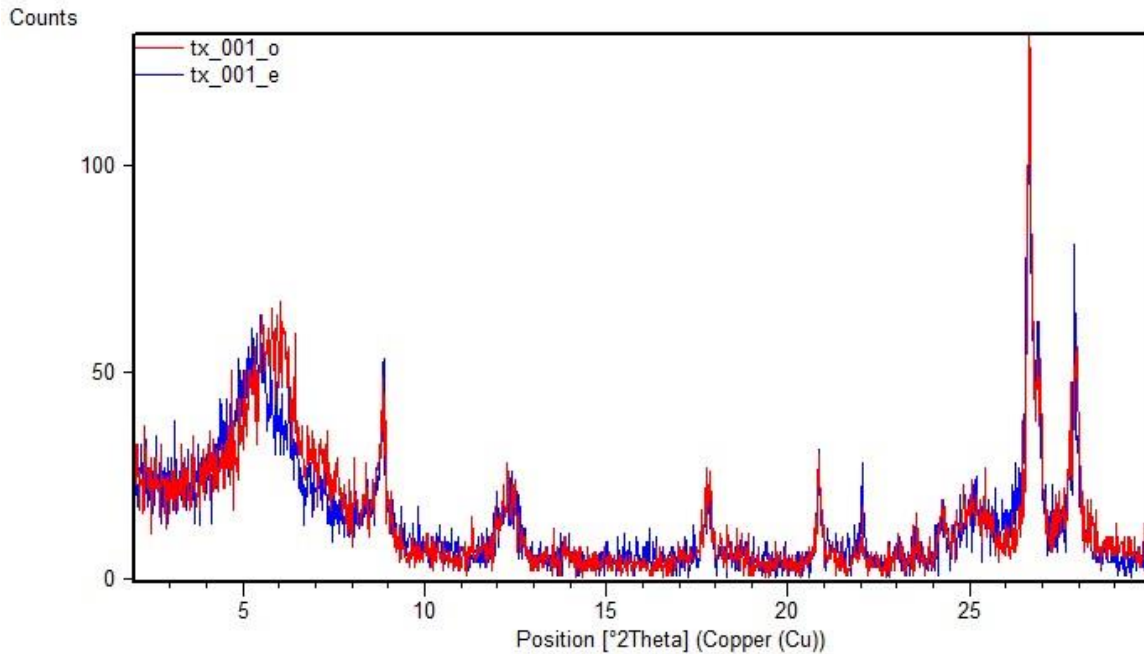


Figura 5.4 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-001

Ubicada en la zona conocida como “El Faro” del pueblo de La Sabana, se encuentra sobre la Formación La Playita, caracterizada por presentar intercalaciones de lutita arenosa, de la cual se asocia la mineralogía obtenida por DRX, debido principalmente a que el material recuperado pueda tratarse de suelo residual de formación *in situ*. Los minerales como la Illita tienen la tendencia a ser encontrados en suelos producto de la meteorización de minerales pertenecientes al grupo de las micas, tales como la muscovita, los cuales fueron encontrados en las lutitas aflorantes.

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y con etilenglycol muestra un pequeño desplazamiento hacia la izquierda en el ángulo de 5° (2Theta) el cual no permite asegurar la presencia de la especie montmorillonita, ya que solo se puede apreciar el desplazamiento en ese punto. Para confirmar la existencia de la especie montmorillonita se recomienda realizar el ensayo de calentamiento a 550°C.





- Etilenglycol vs Orientado

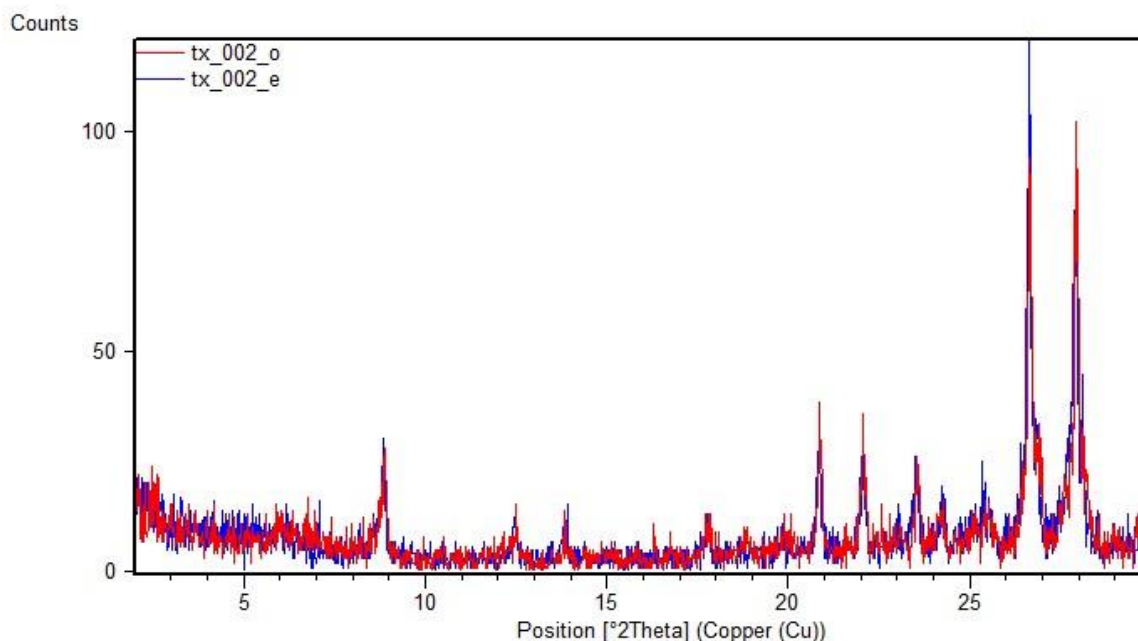


Figura 5.7 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SEB-002

Ubicada en la zona de Punta Estero, la muestra fue recolecta directamente del afloramiento de la Formación La Playita, dicha muestra se encontraba en la base de una arenisca conglomerática rica en micas. La mineralogía obtenida por DRX concuerda con los minerales descritos en campo, donde la presencia de la illita es producto de la degradación de la muscovita. Además, la muestra no presenta indicios de hinchamiento al estar expuesta a los ensayos de etilenglicol y que, a su vez, refleja trazas de silicatos ricos en aluminio, como la caolinita.

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y con etilenglicol no muestra ningún tipo de cambios significativos, se recomienda realizar más ensayos para verificar la existencia de especies expansivas.

Es importante destacar que, tanto en la muestra 001, como la 002, no han sido influenciadas por sedimentos recientes de litologías distintas a la de la Formación La Playita, debido principalmente a que los puntos de recolección fueron ubicados estratégicamente lo más alejado posible del Terreno Las Mercedes (el cual es la litología más cercana). Sin embargo, es muy probable que el origen del material sedimentario (Formación La Playita) sea producto de la meteorización de las litologías de la Faja Costera (Terreno Tacagua) y la Faja Caracas (Terreno Las Mercedes) durante el Pleistoceno.

**Muestra:** NWLS-SUB-003

- Ensayo Roca Total

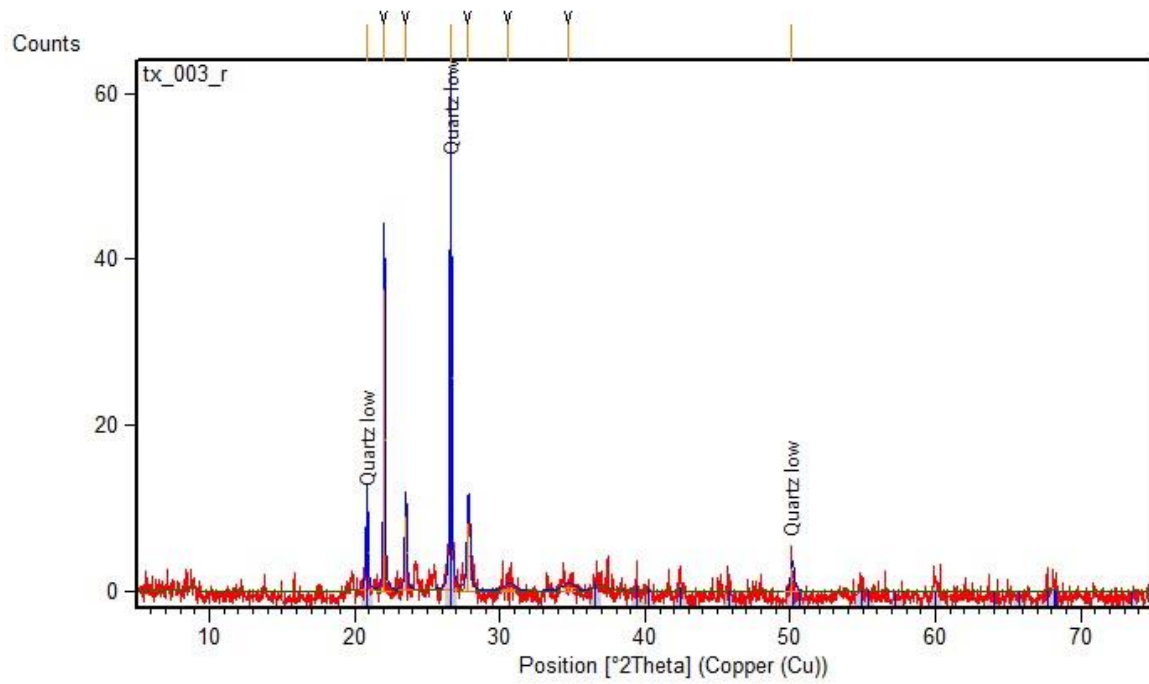


Figura 5.8 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-003

**Mineralogía DRX:** Cuarzo bajo

- Ensayo Orientado

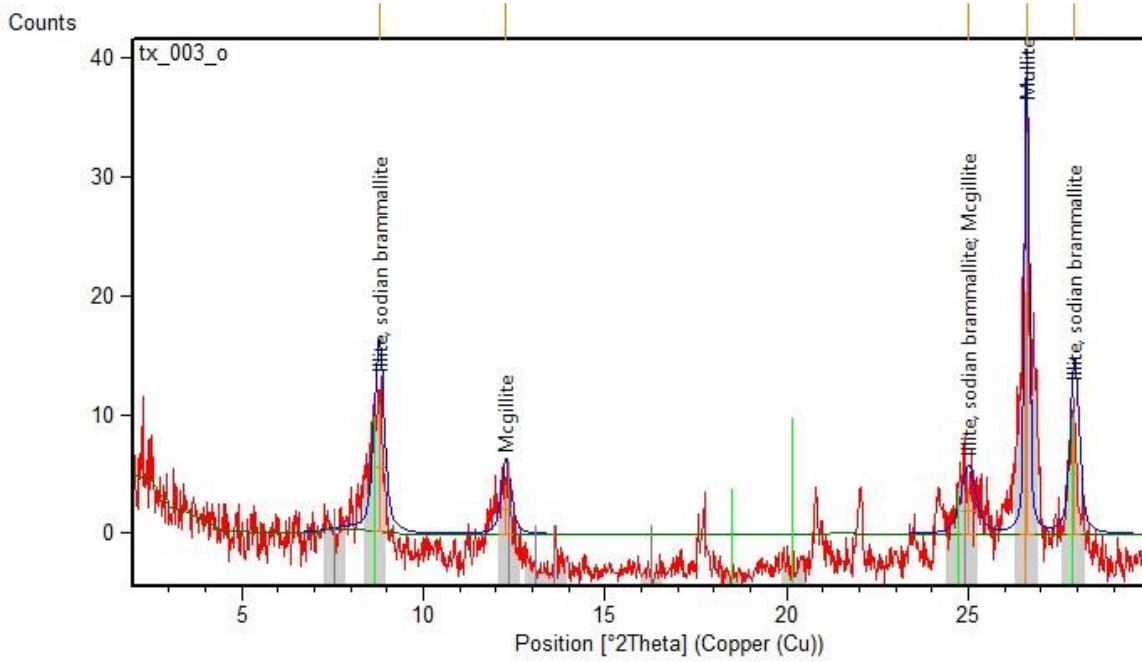


Figura 5.9 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-003

**Mineralogía DRX: Mulita, Ilita (Bramalita sódica), Mcgilita**

- Etilenglycol vs Orientado

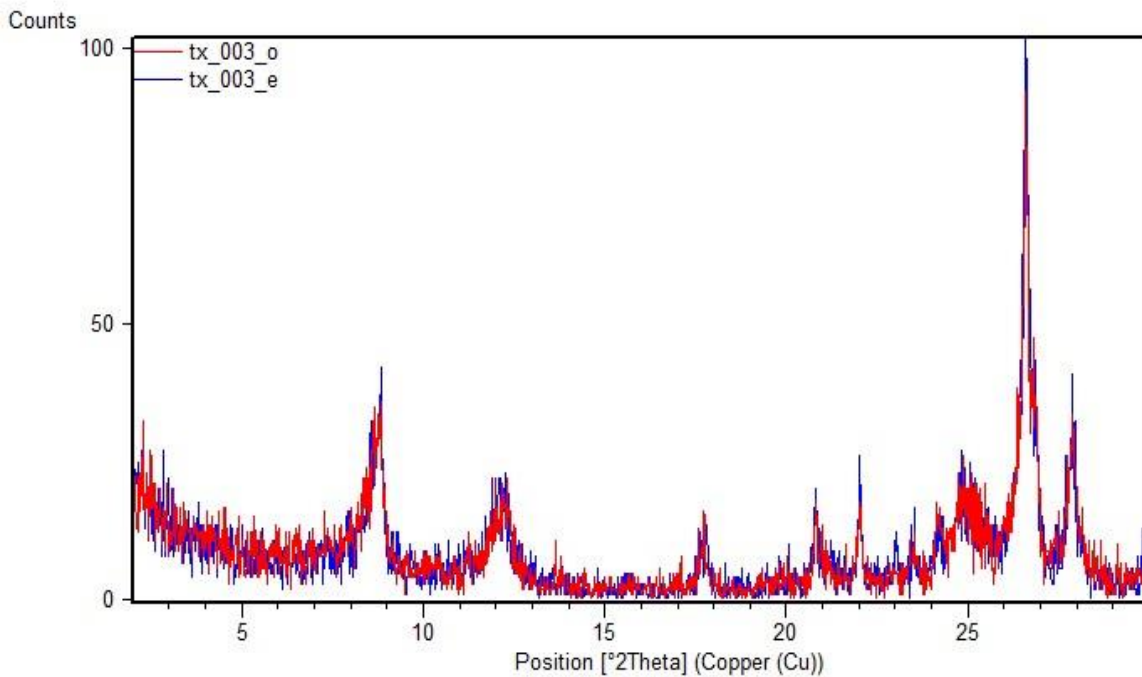


Figura 5.10 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-003

Ubicada en terreno cuaternario sobre la Formación La Playita, pero siendo altamente influenciada por los sedimentos, producto de la meteorización del Terreno Las Mercedes, los cuales están compuestos por esquistos cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso; la muestra fue recolectada de material que presenta todas las características de llanura de inundación, ya que es un terreno bastante amplio y de muy baja pendiente, con material principalmente arcilloso y presencia de clastos, no mayores a los 2cm.

La mineralogía observada en DRX indica la presencia de illita de la especie Bramalita, la cual es una illita enriquecida en sodio. El origen de esta especie de illita puede deberse, principalmente, a la degradación de la muscovita y plagioclasa del Terreno Las Mercedes.

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y con etilenglicol no presenta ningún tipo de cambios significativos, se recomienda realizar más ensayos para verificar la existencia de especies expansivas.

#### Muestra: NWLS-SUB-004

- Ensayo Roca Total

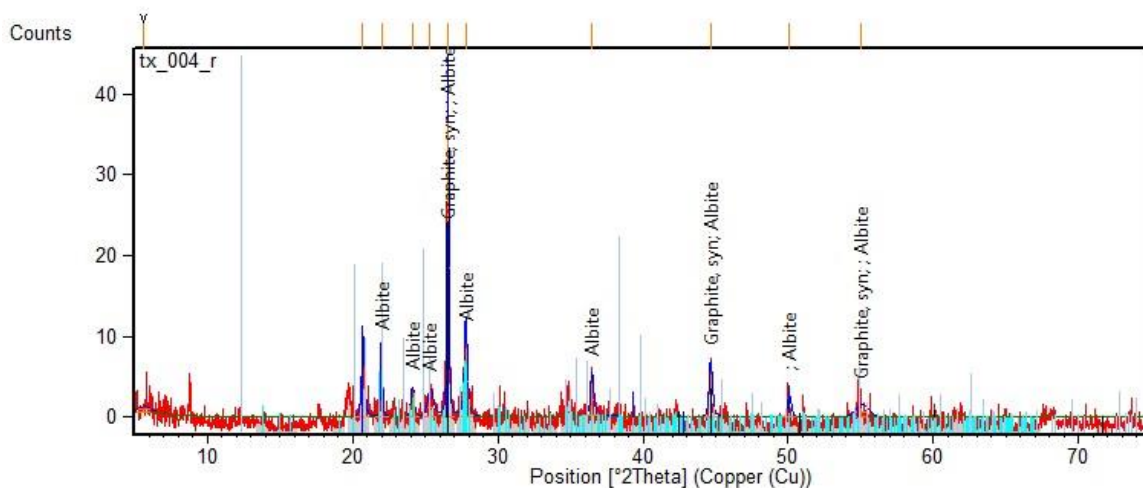


Figura 5.11 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-004

#### Mineralogía DRX: Grafito, Cuarzo, Albita

- Ensayo Orientado

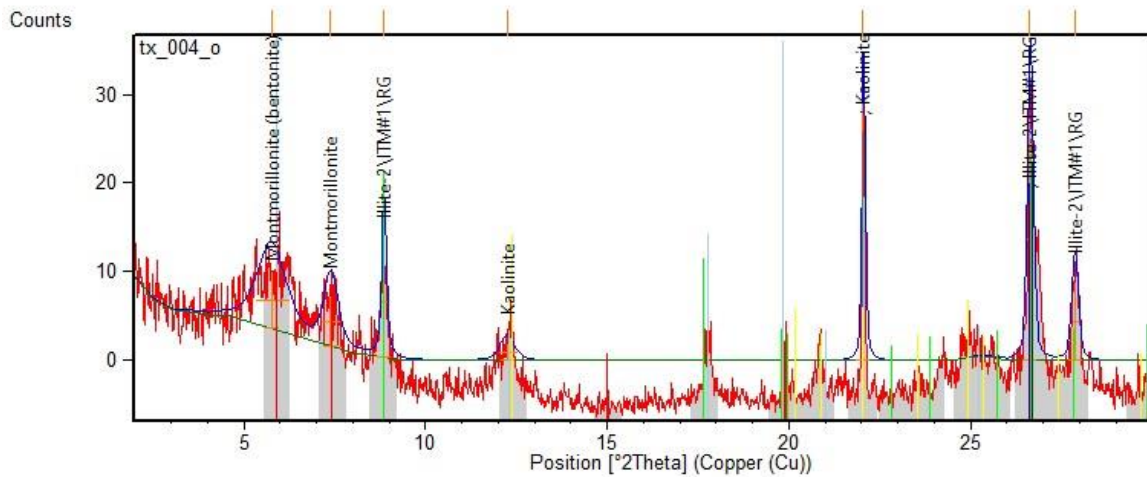


Figura 5.12 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-004

**Mineralogía DRX: Illita 2M<sub>1</sub>, Caolinita, Montmorillonita (Bentónica)**

- Etilenglycol vs Orientado

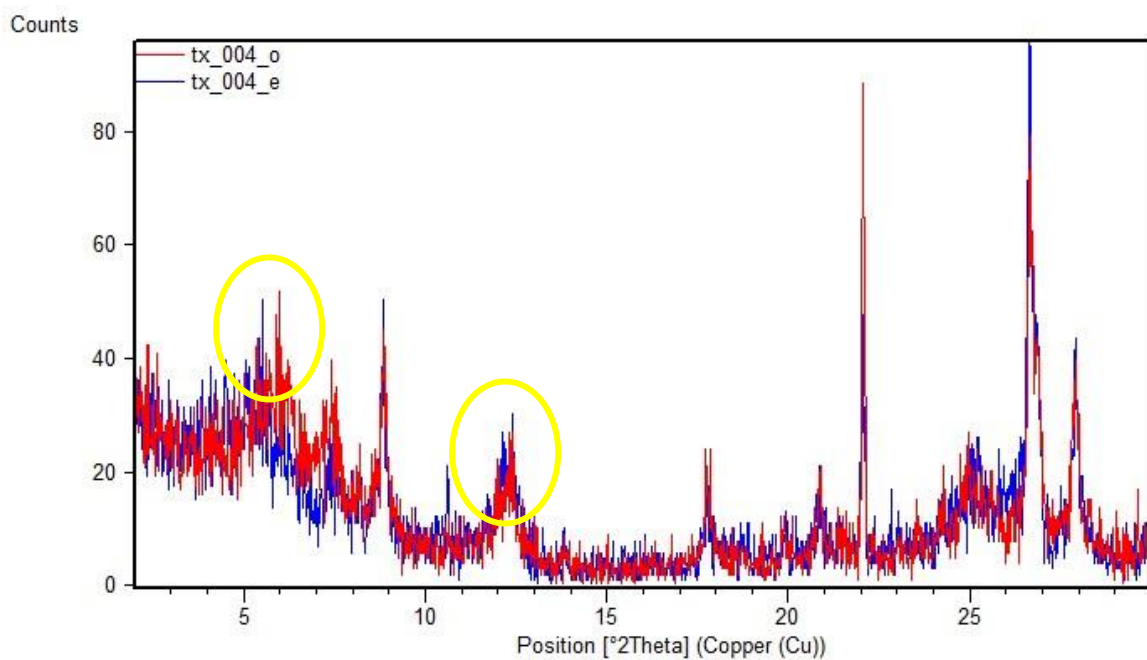


Figura 5.13 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-004

Recolectada en el talud de una vivienda en la zona de Punta El Blanco, sobre suelo de formación *in situ* de la Formación La Playita. La muestra a través del ensayo DRX sin orientar arroja la presencia de grafito, lo cual indica que muy probablemente

el origen de este material sea producto de la meteorización del Terreno Las Mercedes, ya que esta litología presenta una abundancia de grafito en su composición.

Por otra parte, fue posible identificar minerales de arcilla como la illita, caolinita y montmorillonita en el ensayo de DRX orientado. El origen de estos minerales de arcilla están ligados a la degradación de minerales del grupo de las micas como la muscovita (mineral identificado en muestra del Terreno Las Mercedes).

La presencia de montmorillonita fue corroborada al exponer a la muestra a un ambiente con presencia de etilenglycol y compararla con una muestra orientada, donde la misma presentó evidencia de hinchamiento, ya que se encuentra desplazando su gráfica varios grados a la izquierda, específicamente en los picos  $5^{\circ}$ - $6^{\circ}$ (2Theta) y  $12^{\circ}$ (2Theta) siendo este comportamiento habitual de la especie montmorillonita.

#### Muestra: NWLS-SUB-005

- Ensayo Roca Total

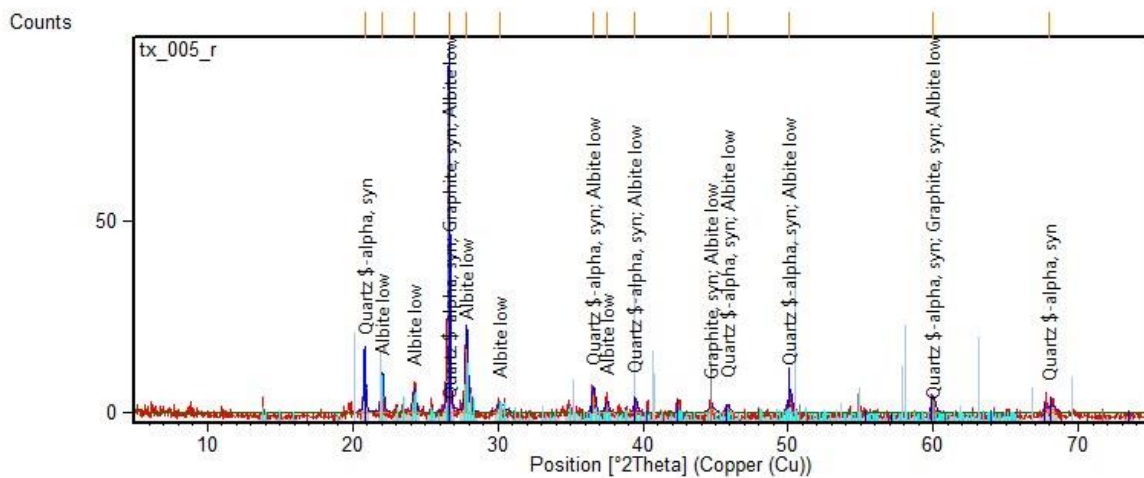


Figura 5.14 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-005

#### Mineralogía DRX: Cuarzo Alfa, Grafito, Albita baja

- Ensayo Orientado (No se obtuvo suficiente material con el tamaño adecuado)

Ubicado en la cantera del pueblo La Sabana sobre el contacto de la Formación La Playita y el Terreno Las Mercedes. El material obtenido en esta localidad presentó irregularidades en el proceso de orientación, debido a que no logró fijarse al portaobjeto.

Su ensayo de roca total arroja la presencia, principalmente, de cuarzo y grafito, producto de su cercanía con los sedimentos del Terreno Las Mercedes de composición esquistos cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso.

**Muestra:** NWLS-SEB-006

- Ensayo Roca Total

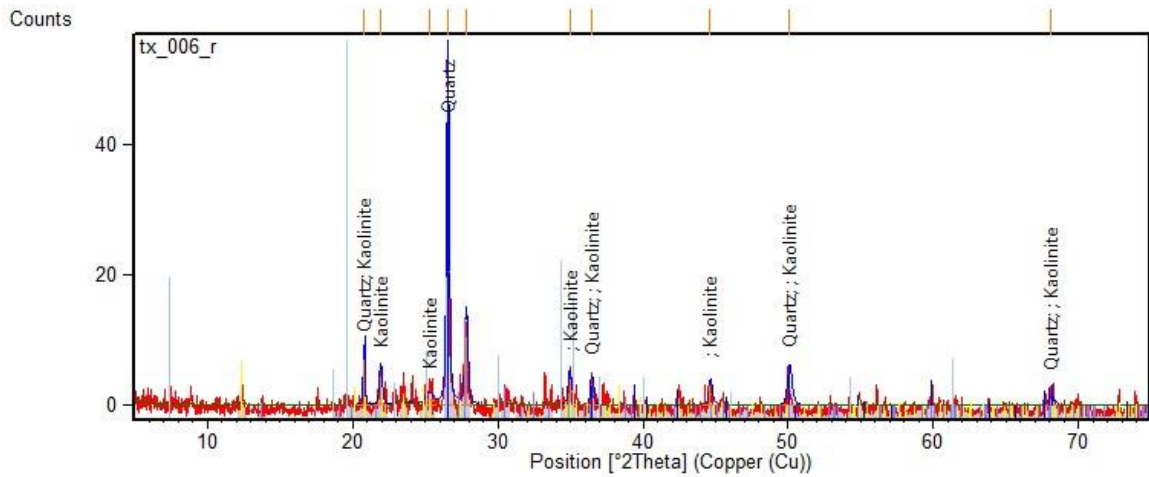


Figura 5.15 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SEB-006

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Caolinita

- Ensayo Orientado

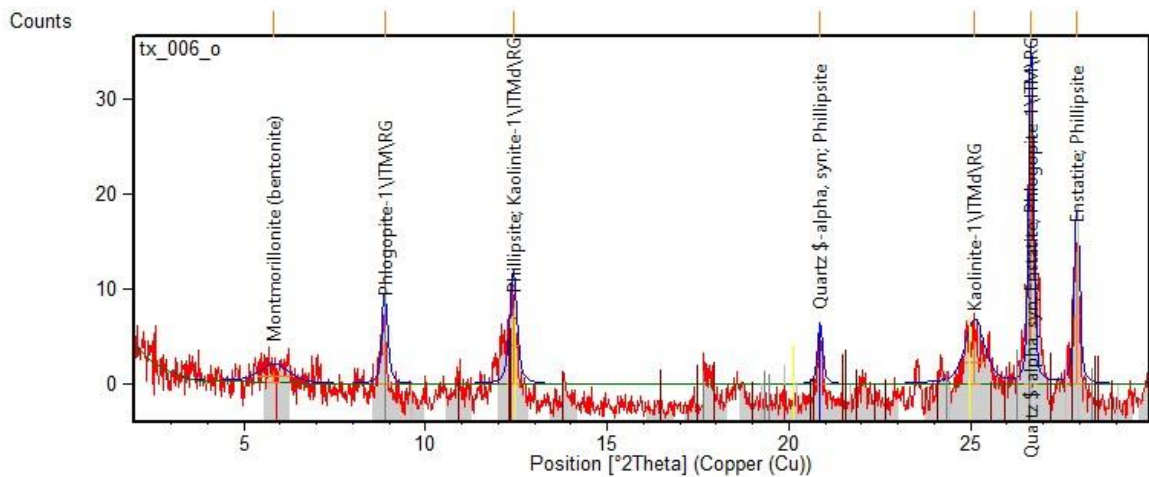


Figura 5.16 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SEB-006

**Mineralogía DRX:** Cuarzo Alfa, Enstatita, Flogopita 1M, Phillipsita, Caolinita 1Md, Montmorillonita (Bentónica)

- Etilenglycol vs Orientado

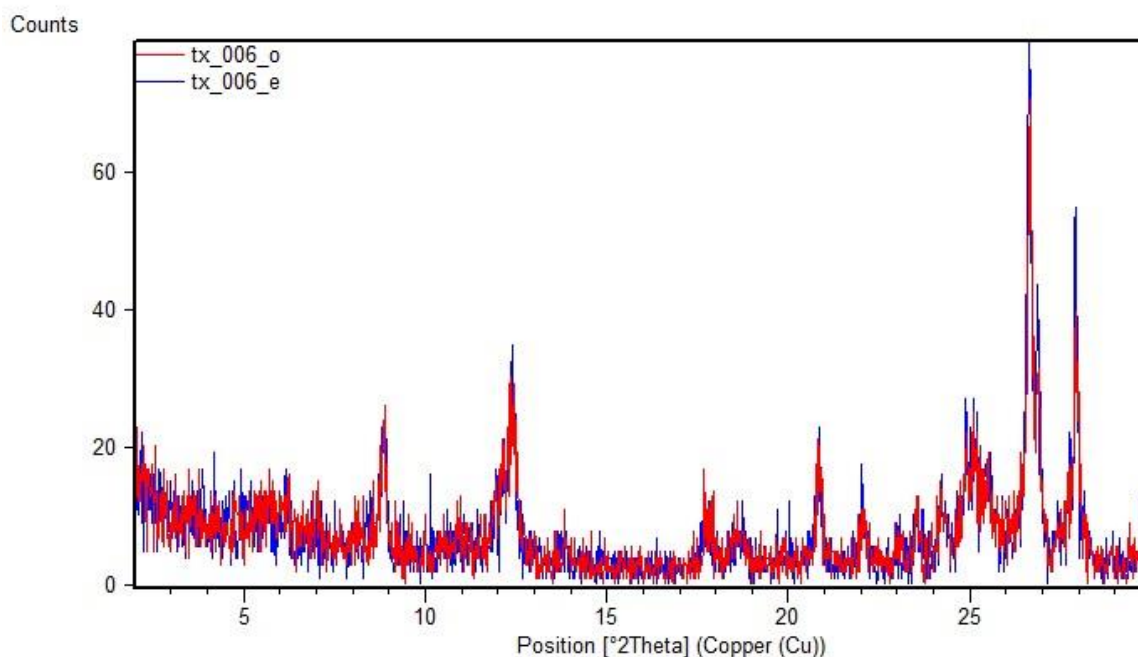


Figura 5.17 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SEB-006

Esta muestra fue recolectada directamente del afloramiento de lutitas de la Formación La Playita cerca de playa Paraíso. Este material lutítico presenta una textura arcillo arenosa de color gris. La mineralogía obtenida a través de los ensayos de DRX arrojan la presencia de aluminosilicatos como la caolinita, filosilicatos del grupo de las micas como la flogopita y la phillipsita así como silicatos ricos en magnesio como la enstatita. También, se determinó la presencia de la especie montmorillonita identificada en el ensayo orientado y verificada a través del ensayo de etilenglycol, donde se observa la alteración de las gráficas, estando ligeramente desplazadas, indicando que la muestra está sufriendo procesos de hinchamiento.

La presencia de estos minerales va a estar relacionado, muy probablemente, al origen mismo de la Formación La Playita, el cual es un material de característica piedemontinas, con pequeñas intercalaciones de lutitas, producto de la meteorización de litologías ubicadas en las zonas más altas hacia el sur, como lo son la Faja Ávila y la Faja Caracas.

Estas litologías presentan, en su composición, variedad de minerales ricos en magnesio, aluminio y una gran variedad de micas, coincidiendo con lo encontrado en los ensayos DRX.



La gráfica comparativa entre la muestra orientada y con etilenglycol no muestra ningún tipo de cambios significativos, se recomienda realizar más ensayos para verificar la existencia de especies expansivas.

**Muestra: NWLS-SUB-007**

- Ensayo Roca Total

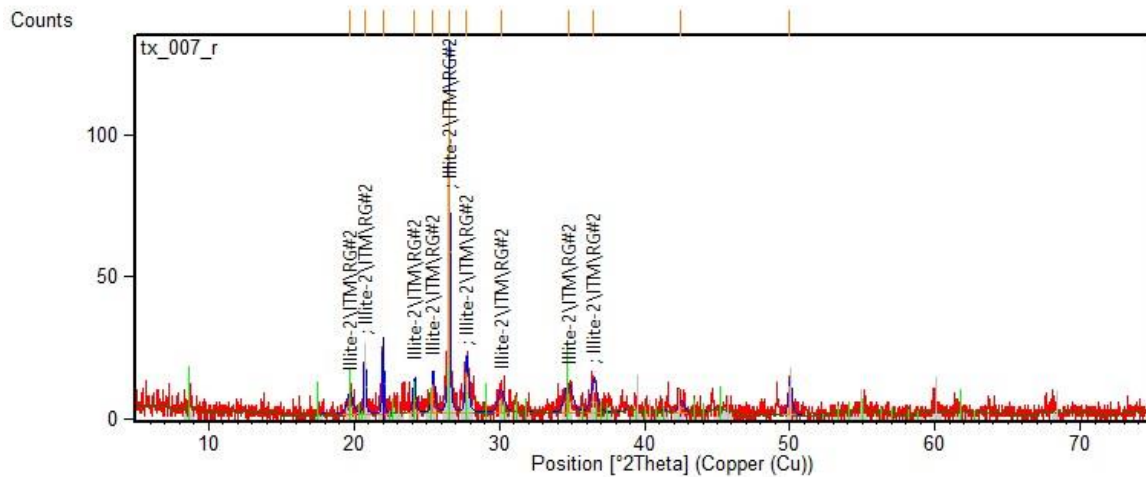


Figura 5.18 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-007

**Mineralogía DRX: Cuarzo, Illita 2M<sub>2</sub>**

- Ensayo Orientado

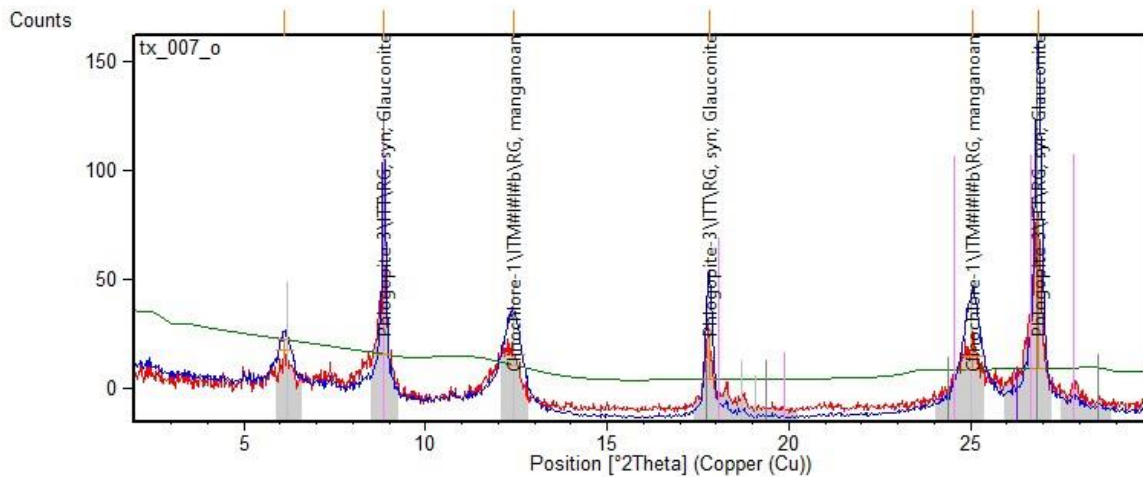


Figura 5.19 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-007

**Mineralogía DRX: Flogopita 3T, Clinocloro 1M, Glauconita, Silimanita**

- Etilenglycol vs Orientado

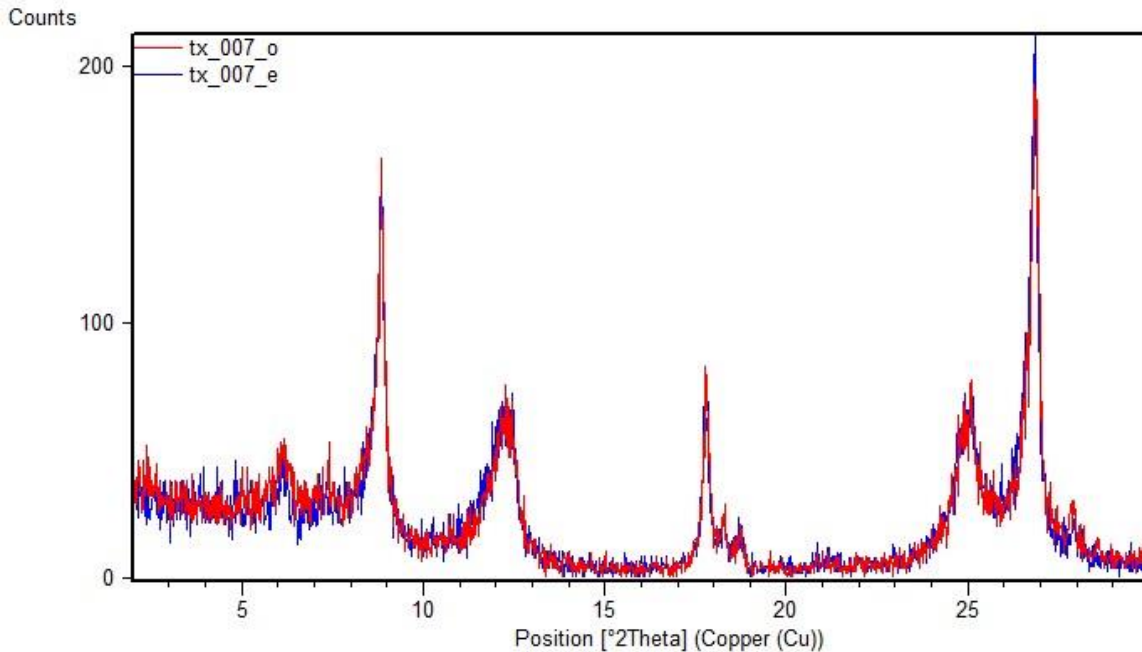


Figura 5.20 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-007

Ubicado en la hacienda “Cocos Todasana” sobre una unidad cuaternaria descrita como arcillolimosa con gran presencia de agua. La mineralogía obtenida, a través de DRX indica que el material ha sido altamente influenciado por el Terreno Las Mercedes, de composición esquisto cuarzo- plagioclásico-micáceo-grafitoso la cual coincide con lo obtenido en DRX. Es posible identificar minerales del grupo de las micas, además la presencia de minerales de arcilla como la illita.

El mineral de arcilla illita se pudo haber originado por la descomposición geoquímica de las especies micáceas encontradas en el Terreno Las Mercedes, que posteriormente, fueron transportadas y depositadas en la unidad.

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y con etilenglycol, no muestra ningún tipo de cambios significativos, se recomienda realizar más ensayos para verificar la existencia de especies expansivas; específicamente se recomienda calentar la muestra en el horno a 400° C por 40 min para verificar si la muestra cambia de coloración.



- Etilenglycol vs Orientado

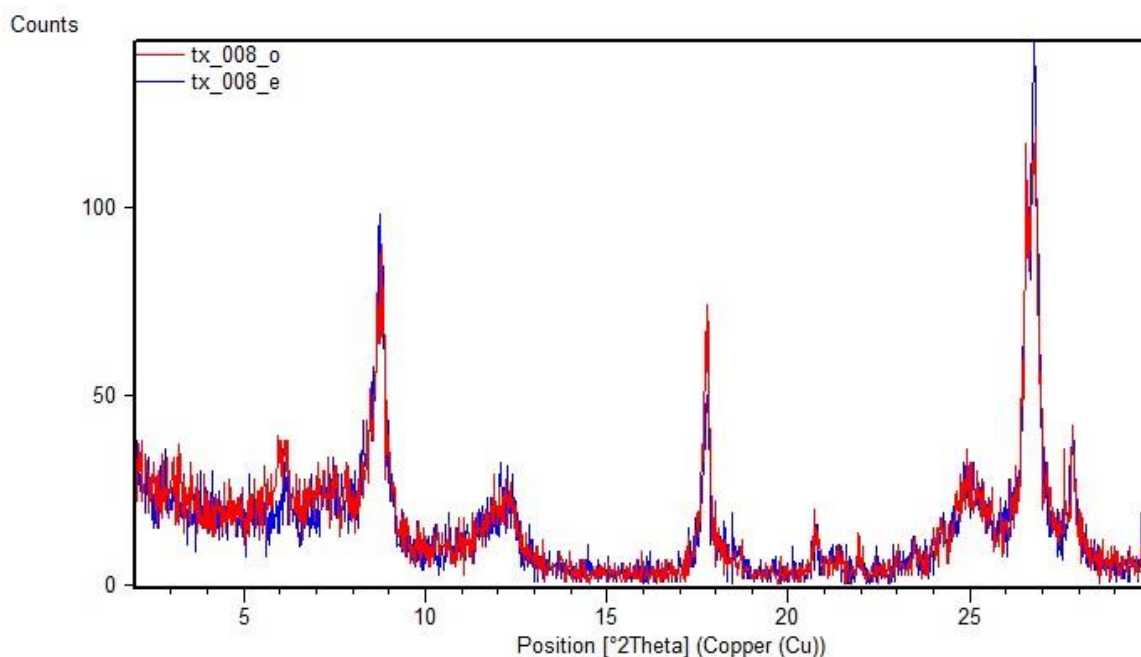


Figura 5.23 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-008

Esta muestra fue recolectada en la periferia de la hacienda “Cocos Todasana”, la cual se encuentra sobre el Terreno Las Mercedes. La mineralogía identificada en DRX se asocia a este mismo Terreno, debido principalmente a que el material recuperado pueda tratarse de suelo residual de formación *in situ*.

Entre los minerales de arcilla identificados destacan la Illita y la Vermiculita. El origen de estos minerales está relacionado con la meteorización de la roca fresca generando un enriquecimiento del suelo en minerales micáceos, los cuales al degradarse forman estas arcillas.

En la gráfica comparativa entre la muestra orientada y la expuesta a etilenglycol, se logró identificar un leve desplazamiento en el pico de 6° (2Theta) indicando la posible presencia de la especie vermiculita, además de que el pico presenta una ligera forma aplanada, indicándonos una presencia de Illita/vermiculita o Illita/montmorillonita interestratificada. Sin embargo, se recomienda realizar un ensayo de calentamiento para logra identificar con más precisión la especie de vemiculita presente.



- Etilenglycol vs Orientado

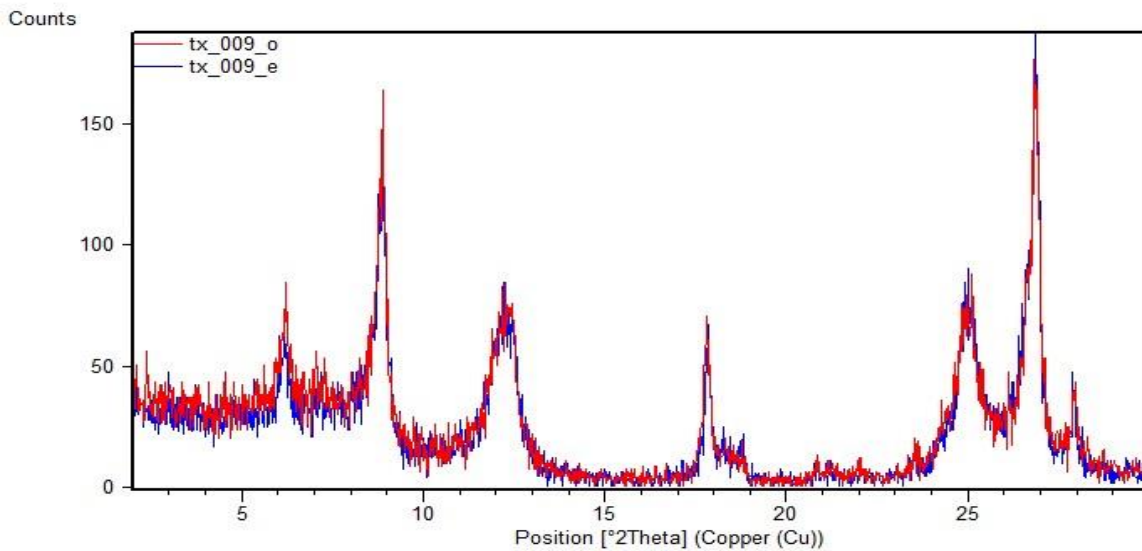


Figura 5.26 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SUB-009

Ubicado en la zona norte de la hacienda “Cocos Todasana”, sobre un material cuaternario, no caracterizado con textura arcillolimosa. La mineralogía identificada en DRX permite deducir que la zona se ha visto claramente influenciada por litologías ricas en micas y aluminosilicatos, teniendo el Terreno Las Mercedes la litología más cercana que cumple con estas características, siendo la principal fuente de sedimentos de la unidad.

El mineral de arcilla identificado en esta muestra fue la caolinita, el cual muy probablemente deba su origen a un enriquecimiento de aluminio en el suelo, producto de la degradación y meteorización de los minerales pertenecientes al Terreno Las Mercedes (cuarzo, micas, feldespato).

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y con etilenglycol no muestra ningún tipo de cambios significativos, se recomienda realizar más ensayos para verificar la existencia de especies expansivas.

Es importante señalar, que las muestras 007, 008, 009 fueron recolectadas dentro de la hacienda “Cocos Todasana”. En dicha hacienda fue posible encontrar abundancia de material arcilloso, el cual está siendo utilizado para la construcción de refugios de barro, así como también para la siembra y cultivo, aprovechando su abundancia en filosilicatos.

**Muestra: NWLS-SEC-010**

- Ensayo Roca Total

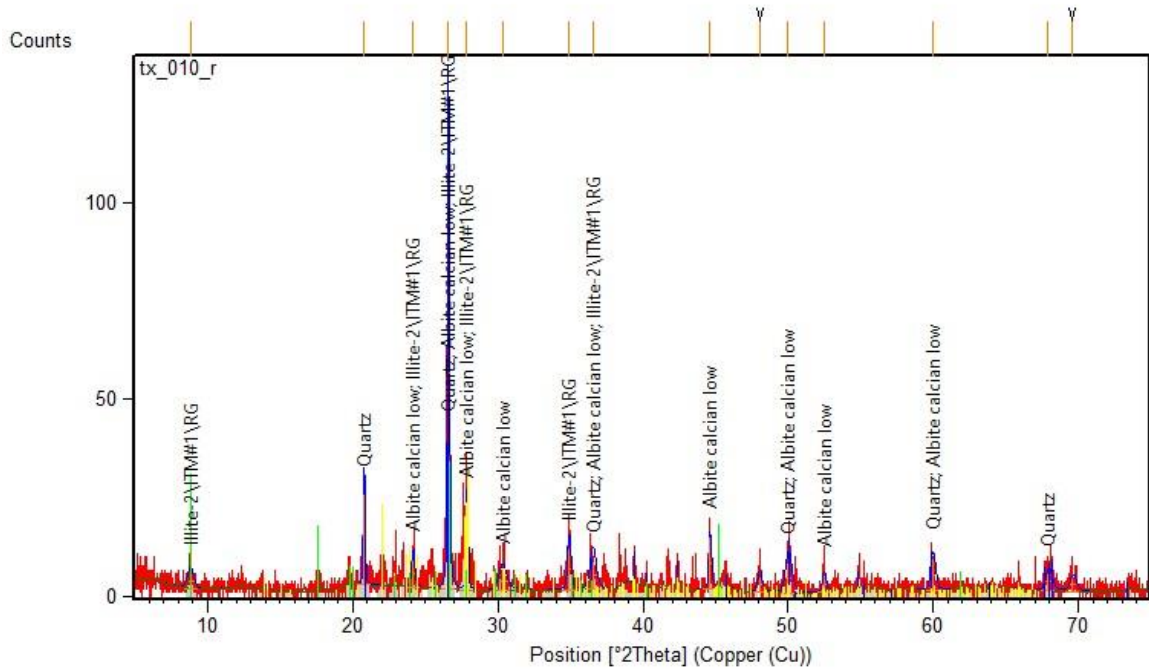


Figura 5.27 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SEC-010

**Mineralogía DRX: Cuarzo, Albite Cálcida, Illita 2M<sub>1</sub>**

- Ensayo Orientado

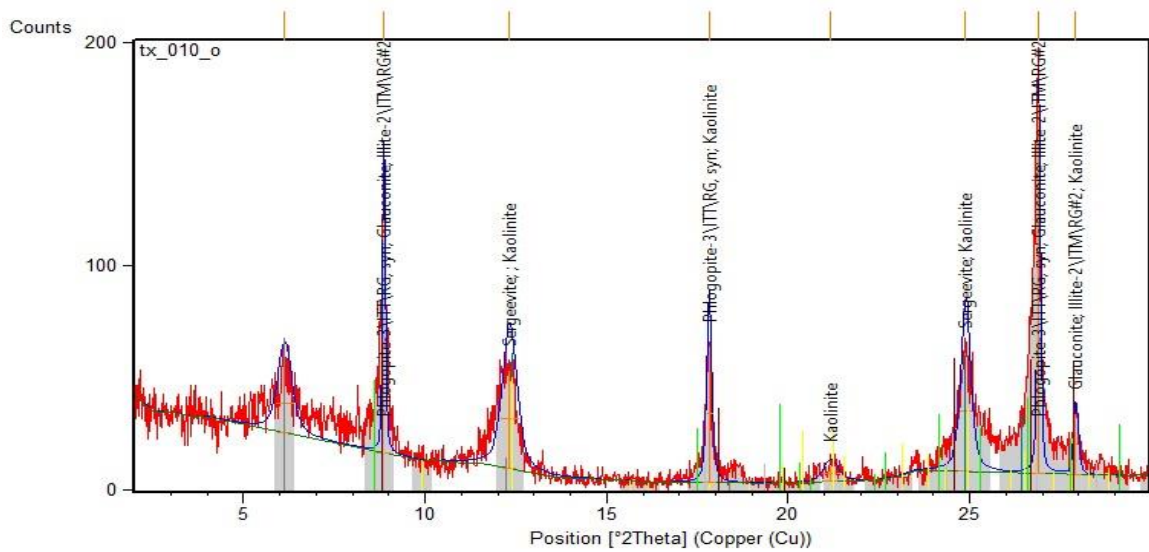


Figura 5.28 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SEC-009

**Mineralogía DRX: Flogopita 3T, Grafito, Glauconita, Illita 2M<sub>2</sub>**

- Etilenglycol vs Orientado

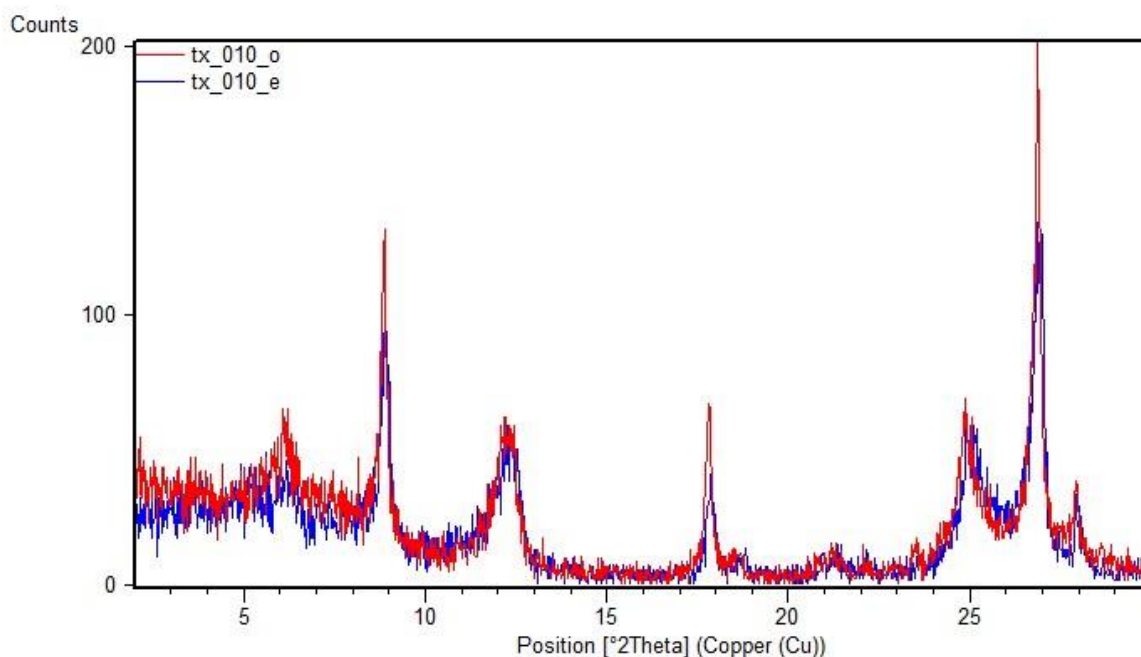


Figura 5.29 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NWLS-SEC-010

Esta muestra se encuentra ubicada en el sector playa “Paraíso”, dicha muestra fue tomada directamente de un talud de corte que se encontraba en la zona, la muestra presentaba coloraciones grises, con alineaciones de color marrón. La mineralogía obtenida en DRX se asemeja bastante a las intercalaciones lutíticas de la Formación La Playita. No se descarta la influencia de sedimentos provenientes del Terreno Las Mercedes, debido a que fue posible identificar trazas de grafito, las cuales son característica de sedimentos producto de la meteorización de esta unidad.

EL principal mineral de arcilla encontrado fue illita, el cual fue posible identificar en los ensayos DRX sin orientar, mostrando que existe una abundancia de dicho mineral en la zona. El origen de este mineral está ligado directamente a la depositación de espesores lutíticos de la Formación La Playita.

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y la expuesta a etilenglycol no muestra ningún tipo de cambios significativos; sin embargo, la abundancia de minerales de arcilla es significativa, por lo que se recomienda realizar más ensayos a la muestra, específicamente el ensayo de calentamiento de muestra en el horno a 400° C por 40 min para verificar si la muestra resiste a tales condiciones.



**Muestra: NWLS-SUB-018**

- Ensayo Roca Total

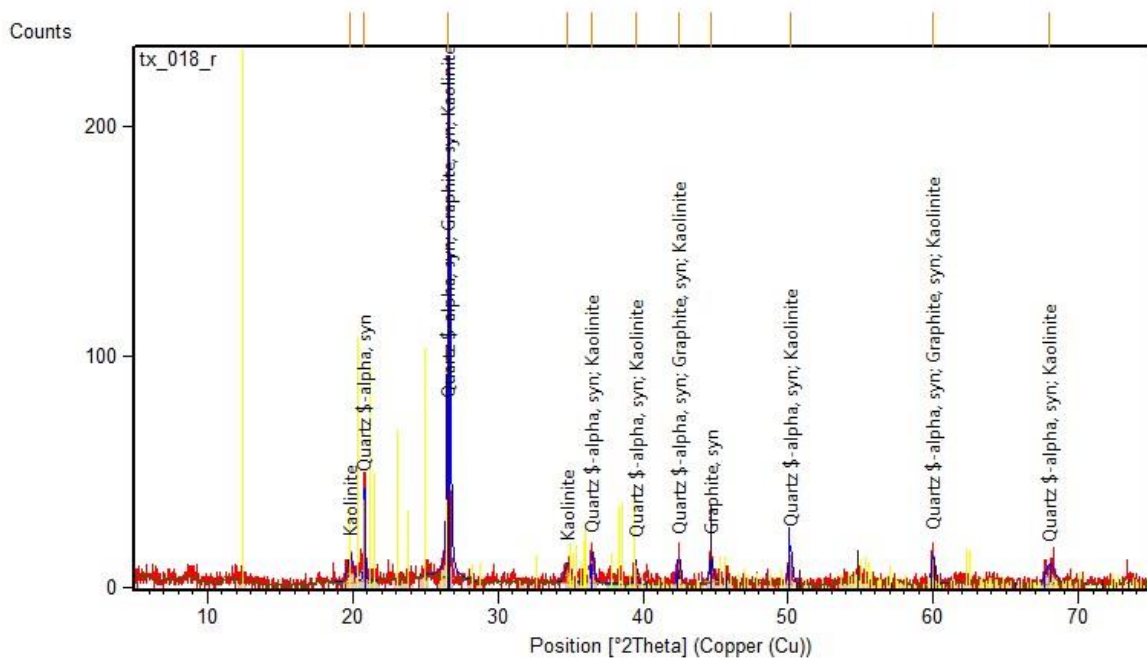


Figura 5.30 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-018

**Mineralogía DRX: Cuarzo Alfa, Grafito, Caolinita**

- Ensayo Orientado

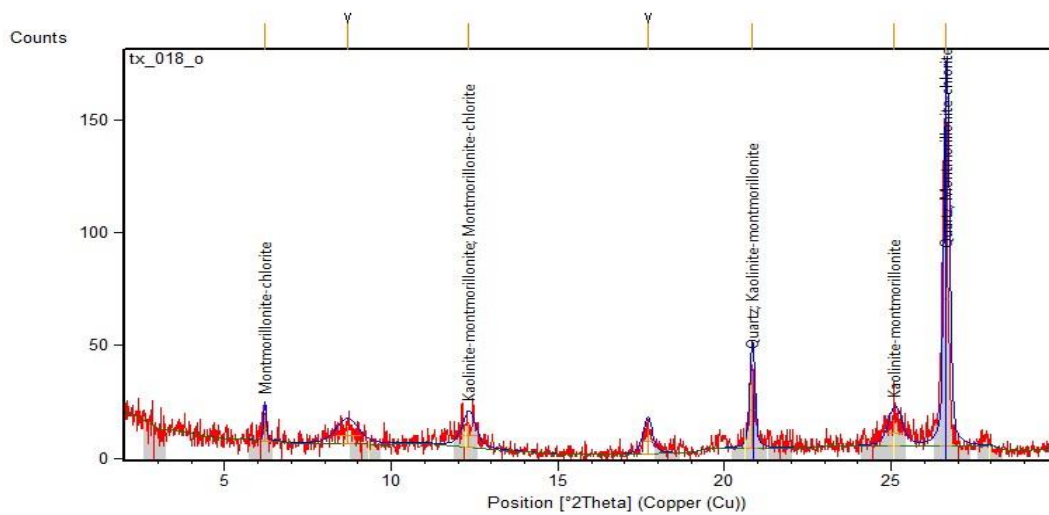


Figura 5.31 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-018

**Mineralogía DRX: Cuarzo, Caolinita-Montmorillonita, Montmorillonita-Clorita**

Ubicada en la entrada del pueblo “La Sabana” sobre un material cuaternario de textura arenarcillosa. La mineralogía obtenida por DRX se destaca por arrojar la presencia de caolinita y la especie Montmorillonita-Clorita. El origen de estos minerales de arcilla, muy probablemente, esté relacionado por la influencia del Terreno Las Mercedes el cual se caracteriza por presentar en su composición minerales ricos en aluminio y del grupo de las micas.

La ausencia de minerales de arcilla como la illita puede deberse a un aumento considerable en la energía del medio a la hora de la depositación, además, también influye una variación mineralógica en los sedimentos recuperados, ya que pudieron haber variado los productos de la meteorización.

**Muestra:** NWLS-SUB-019

- Ensayo Roca Total

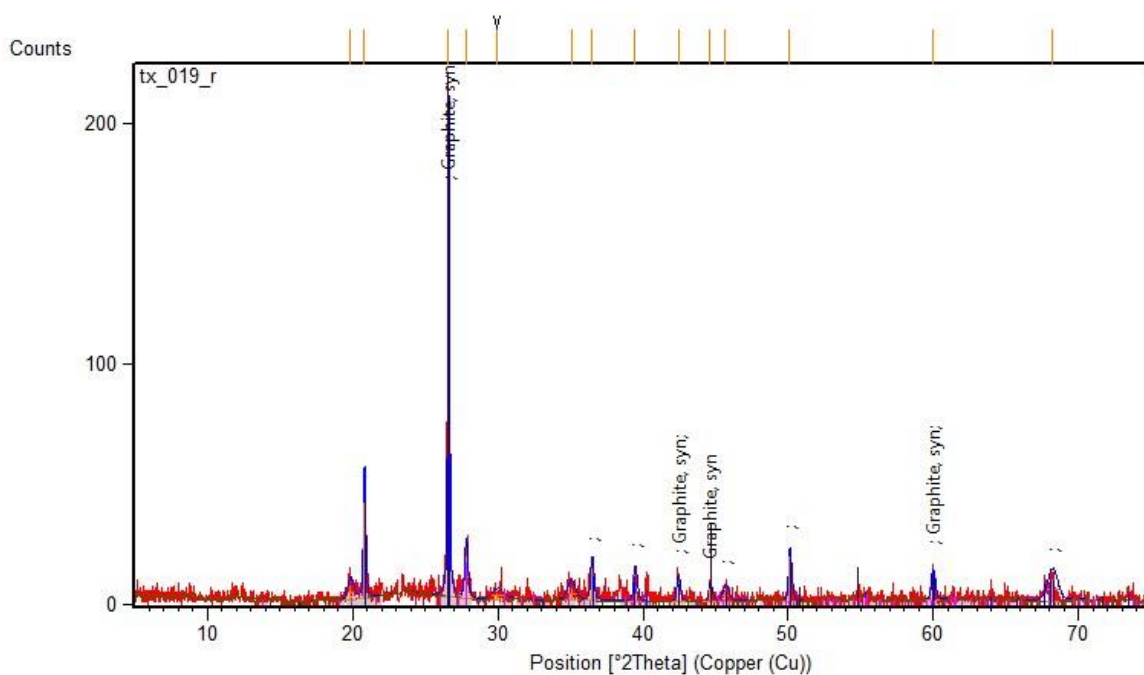


Figura 5.32 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NWLS-SUB-019

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Grafito

- Ensayo Orientado

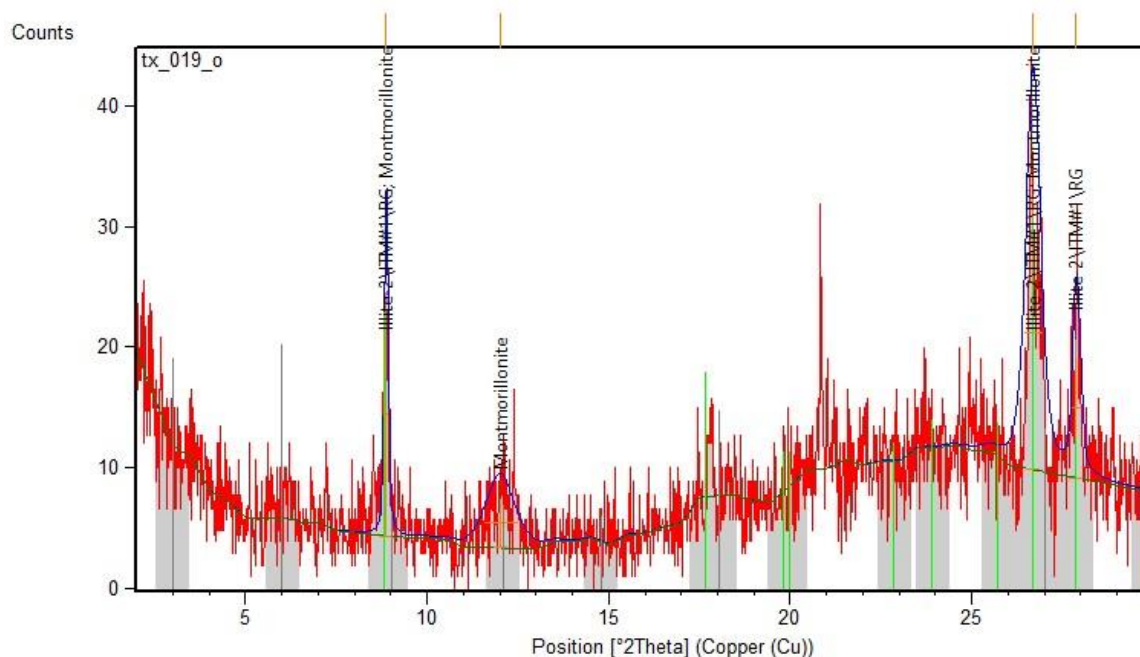


Figura 5.33 DRX Ensayo Orientado. Muestra NWLS-SUB-019

### Mineralogía DRX: Illita 2M<sub>1</sub>, Montmorillonita

Ubicado en el pueblo de La Sabana, sobre la Formación La Playita, se logró identificar a través de los ensayos DRX minerales de arcilla. Dichos minerales, muy probablemente, tengan su origen en la meteorización de un espesor considerable de lutita de la Formación La Playita, debido principalmente a que el material recuperado pueda tratarse de suelo residual de formación *in situ*.

#### V.2.1.2 Síntesis de la zona

Todas las muestras recolectadas en esta zona se encuentran ubicadas al oeste del pueblo de La Sabana, estando la gran mayoría en la zona costera de la región. Esta zona se caracteriza por encontrar afloramientos de la Formación La Playita, destacándose capas de material arenoso intercaladas con conglomerados polimícticos, además según la descripción textural de TARACHE (1975) es posible encontrar lutitas arenolimosas, las cuales clasificadas bajo los estándares más recientes serían clasificadas como arenas con una matriz arcillosa.

Una vez identificado por medio de DRX cada una de las especies minerales encontradas en la zona, muchas de éstas coinciden con la mineralogía descrita en la primera facies de la Formación La Playita, la cual está constituida principalmente por conglomerados polimícticos y areniscas, grauvacas y arcosas de granulometría variable. Sin embargo, fueron visualizados, durante la salida de campo, pequeños espesores de lutita intercalados. Los conglomerados polimícticos son de tipo torrencial, con granulometría variable desde cantos rodados, hasta tamaño de arena, las grauvacas conglomeráticas son friables, mal escogidas, de color gris oscuro con presencia de cuarzo, micas y feldespatos. Las arcosas son de grano fino, friables, mal escogidas con fragmentos de rocas, cuarzo, mica y feldespato.

Esta abundancia de minerales como el cuarzo, micas y feldespatos serán, muy probablemente, los responsables de enriquecer los suelos de donde fueron extraídas las muestras, debido a que la presencia de illita (mineral arcilloso más abundante) pueda ser explicada a través de la degradación geoquímica de minerales del grupo de la mica, como por ejemplo la muscovita.

La presencia de minerales provenientes de distintas litologías, como el grafito, permite deducir que las zonas de donde fueron recolectadas las muestras se traten de cuerpos cuaternarios, aun no cartografiados.

Otro mineral identificado por DRX, pero en menor proporción fue el grafito, el cual debe su origen a la litología del Terreno Las Mercedes, lo que indica que la zona también ha recibido material de origen aluvional proveniente de este Terreno. La identificación de grafito puede llegar a generar problemas debido a que se superpone con los picos de cuarzo. En el caso del cuarzo (en forma de sílice libre), su patrón de difracción se caracteriza por tener picos de alta intensidad en ángulos específicos, lo que indica una estructura cristalina ordenada y regular. Por otro lado, el patrón de difracción del grafito es más complejo y se caracteriza por tener picos de menor intensidad, lo que indica una estructura cristalina más desordenada y compleja. Si se observan los difractogramas se puede ver como las muestras se caracterizan por tener una gran cantidad de picos, pero de muy baja intensidad permitiéndonos confirmar la presencia de grafito; es importante destacar que dicho mineral fue identificado durante la recolección de muestras en campo.

Por último, es importante destacar que a través de la recopilación bibliográfica y las observaciones en campo, se identificó que la zona ha sufrido de fenómenos torrenciales como flujo de derrubios, evidenciado en la presencia de abanicos

aluvionales, estos abanicos, muy probablemente, son los responsables de esa textura arenosa encontrada en todas las muestras de arcilla. Dichos fenómenos arrastran sedimentos desde las zonas más alta de la región, por lo que no se descarta, la influencia de litologías como el esquisto Tacagua, Complejo San Julian y Augengneis de Peña de Mora.

Figura 5.34 Ubicación de muestras de la zona de La Sabana

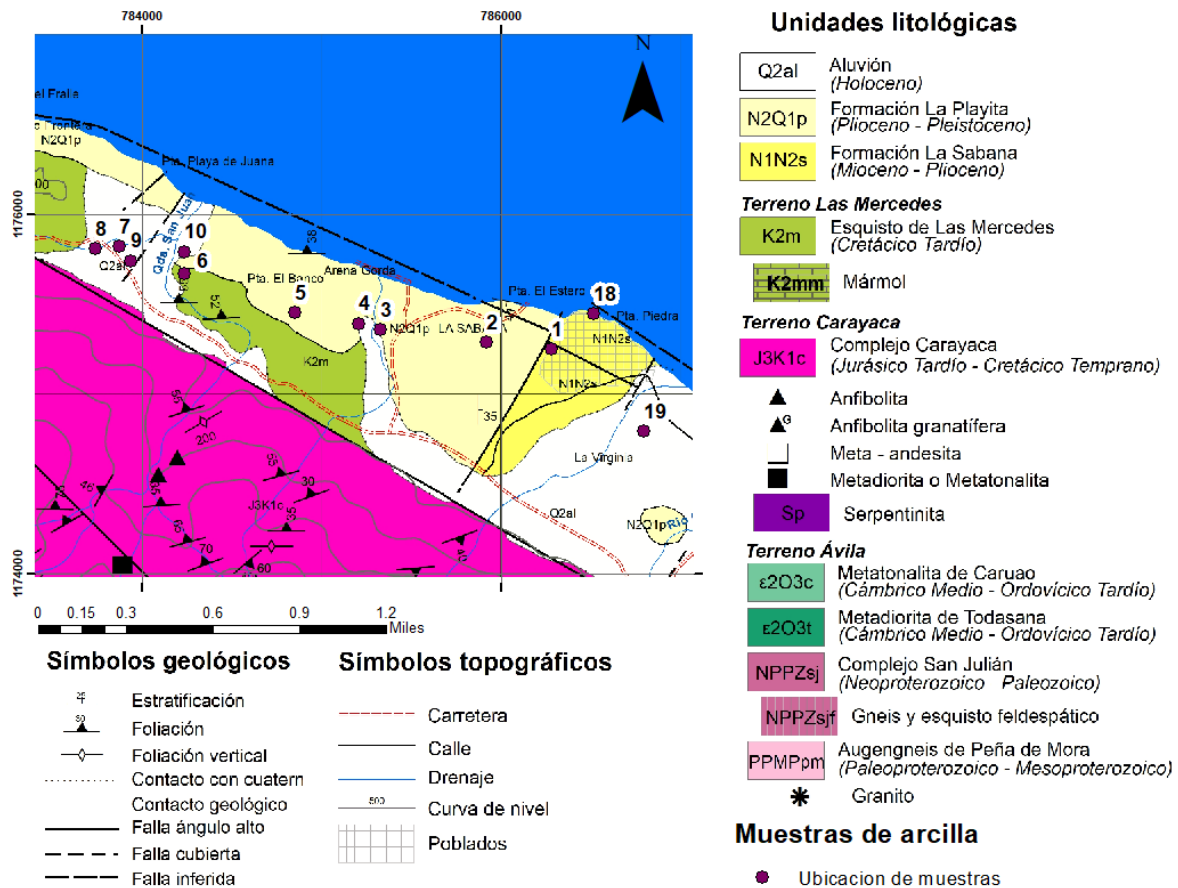


Figura 5.34 ubicación de las muestras NWLS-SUB-001; NWLS-SEB-002; NWLS-SUB-003; NWLS-SUB-004; NWLS-SUB-005; NWLS-SEB-006; NWLS-SUB-007; NWLS-SUB-008; NWLS-SUB-009; NWLS-SEC-010; NWLS-SUB-018; NWLS-SUB-019

## V.2.2 Chuspa

### V.2.2.1 Análisis de muestras

**Muestra:** NECH-SEB-011

- Ensayo Roca Total

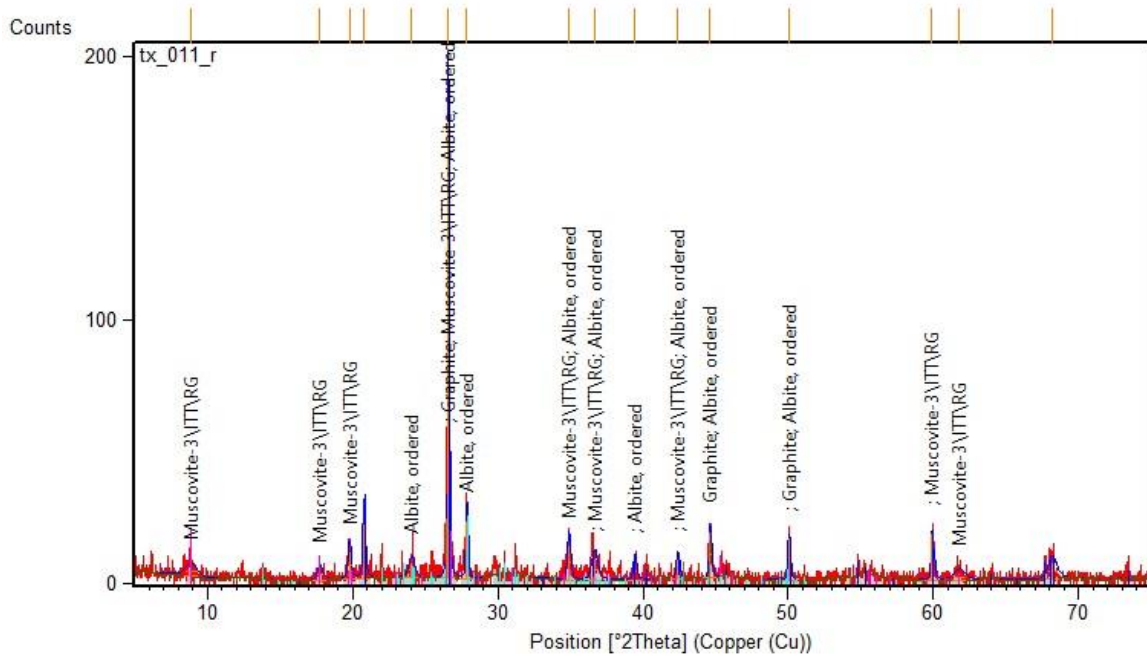


Figura 5.35 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEB-011

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Grafito, Muscovita 3T, Albite Ordenada

- Ensayo Orientado

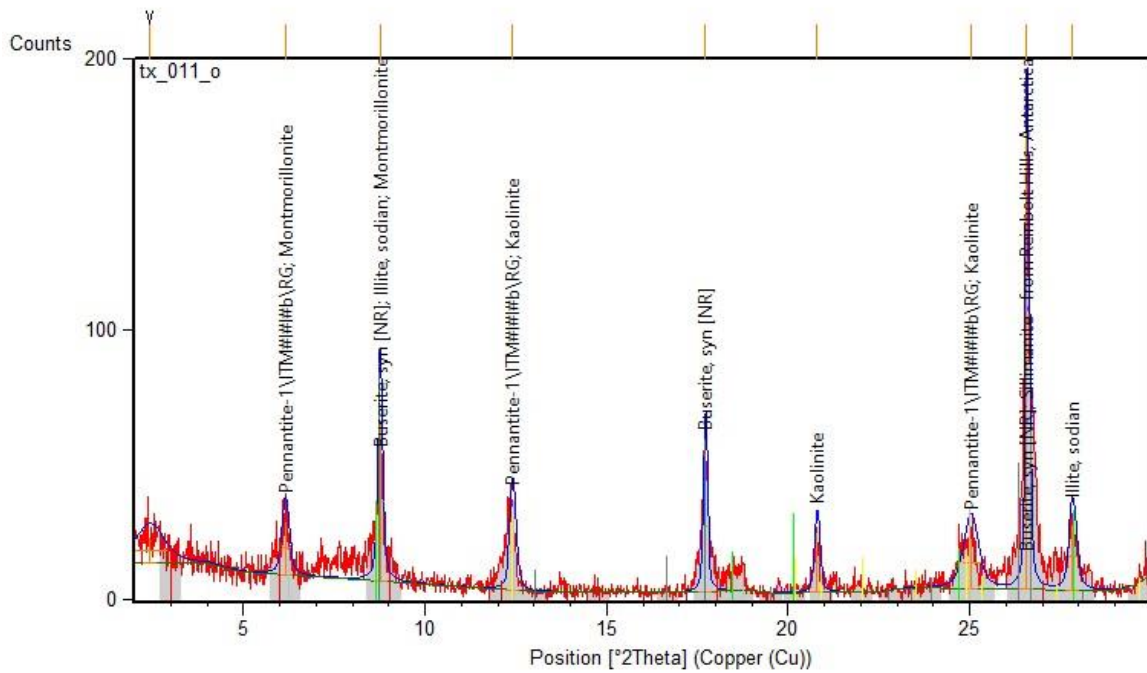


Figura 5.36 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEB-011

**Mineralogía DRX:** Buserita, Pennatita 1M, Ilita Sódica, Silimanita, Caolinita, Montmorillonita

- Etilenglycol vs Orientado

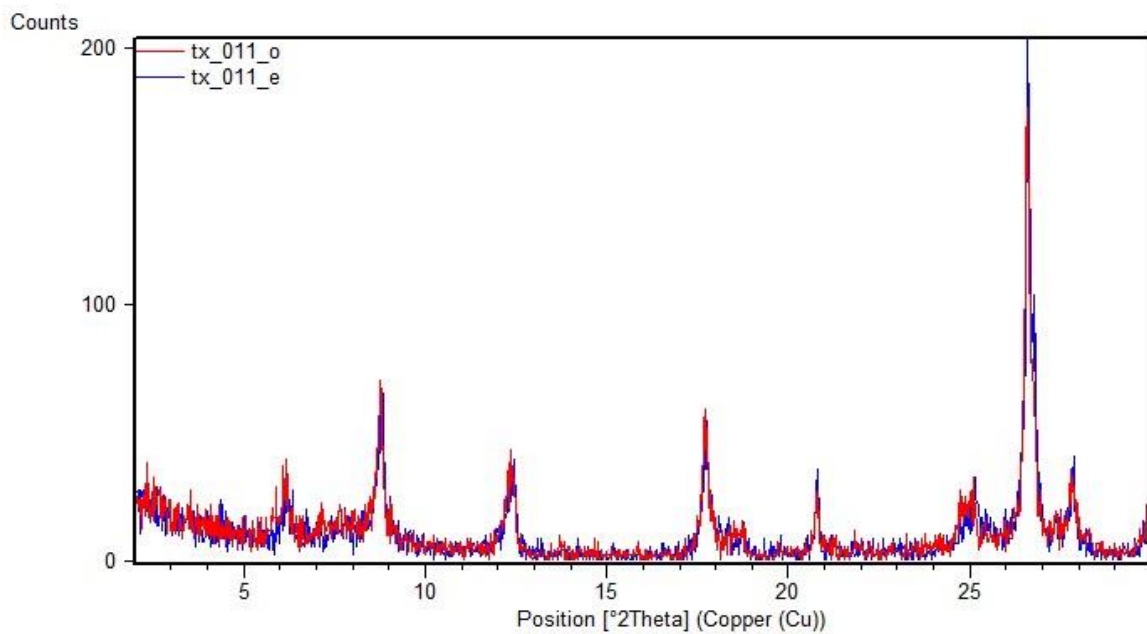


Figura 5.37 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEB-011





- Ensayo Orientado

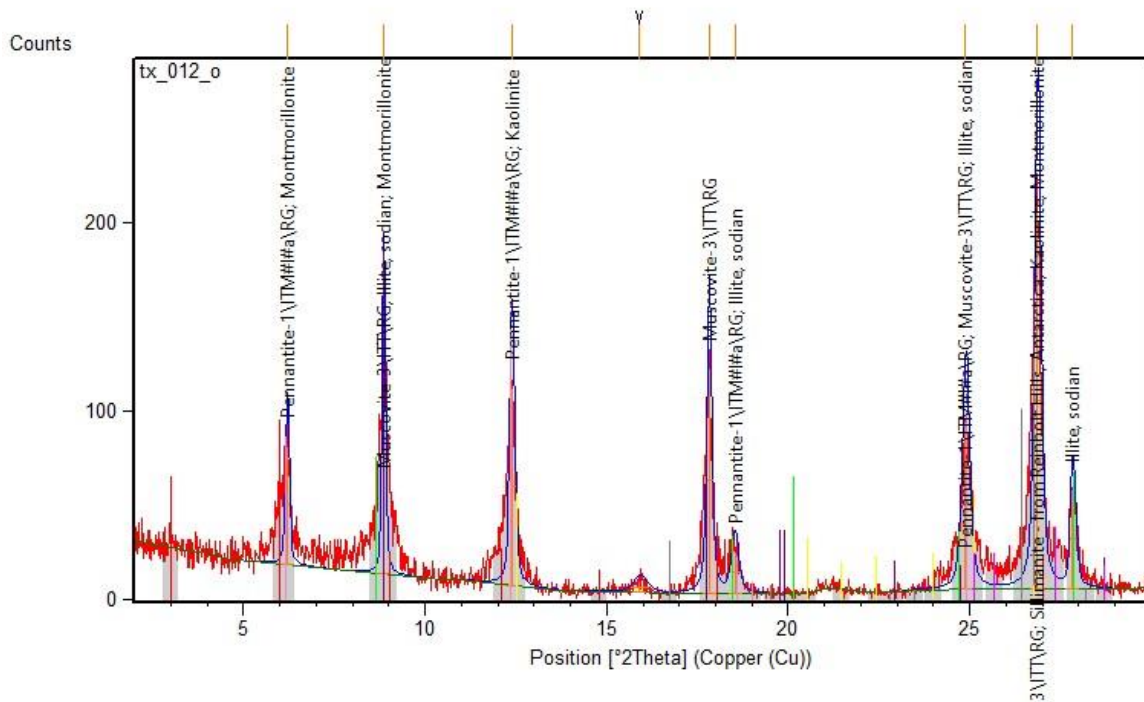


Figura 5.39 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEC-012

**Mineralogía DRX:** Pennatita 1M, Muscovita, Ilita Sódica, Silimanita, Caolinita, Montmorillonita, Vermiculita

- Etilenglycol vs Orientado

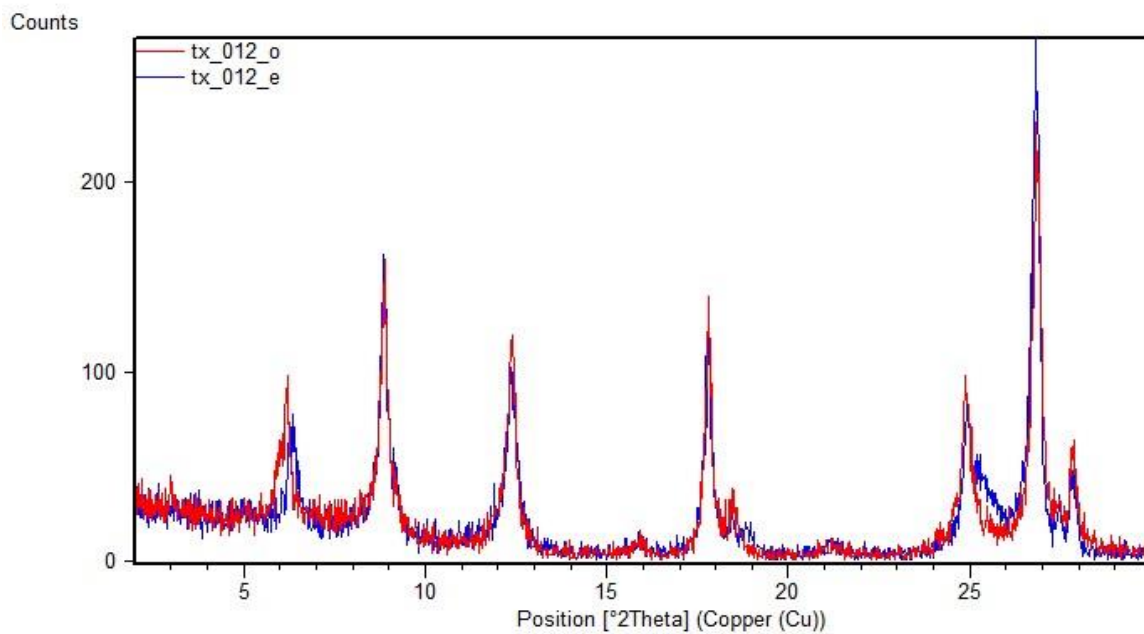


Figura 5.40 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEC-012

Recolectada en las afueras del pueblo de Chuspa, específicamente en la zona más alta, esta muestra fue tomada más hacia la base del mismo afloramiento que la muestra 011. La mineralogía obtenida por DRX al igual que la anterior, coincide con la descrita por distintos autores, destacando la mayoría de ellos la presencia de micas, cuarzo y minerales de arcilla.

Los minerales de arcilla identificados fueron la illita, caolinita, montmorillonita y vermiculita. Debido a que la montmorillonita y la vermiculita presentan los mismos picos a la hora de realizar los ensayos en aire seco, fue necesario realizar el ensayo de etilenglicol para verificar cuál era la especie presente.

La gráfica comparativa muestra como existe un desplazamiento hacia la derecha en la mayoría de los picos, por lo que se confirma la existencia de especies expansivas como la montmorillonita y la vermiculita (identificadas previamente en condiciones de aire seco).

Al igual que la anterior, el origen de los minerales de arcilla identificados se deben a la meteorización de los minerales del grupo de las micas.

Es importante destacar que tanto para la muestra 011 y 012 al momento de identificar la mineralogía DRX de los ensayos orientados es posible notar la existencia aun de filosilicatos del grupo de las micas, lo cual indica que al tomar la muestra directamente del afloramiento el mismo no presenta una gran degradación de estos minerales, por lo que la presencia de los productos de su alteración, como la illita, no son los más abundantes.

**Muestra: NECH-SUB-013**

- Ensayo Roca Total

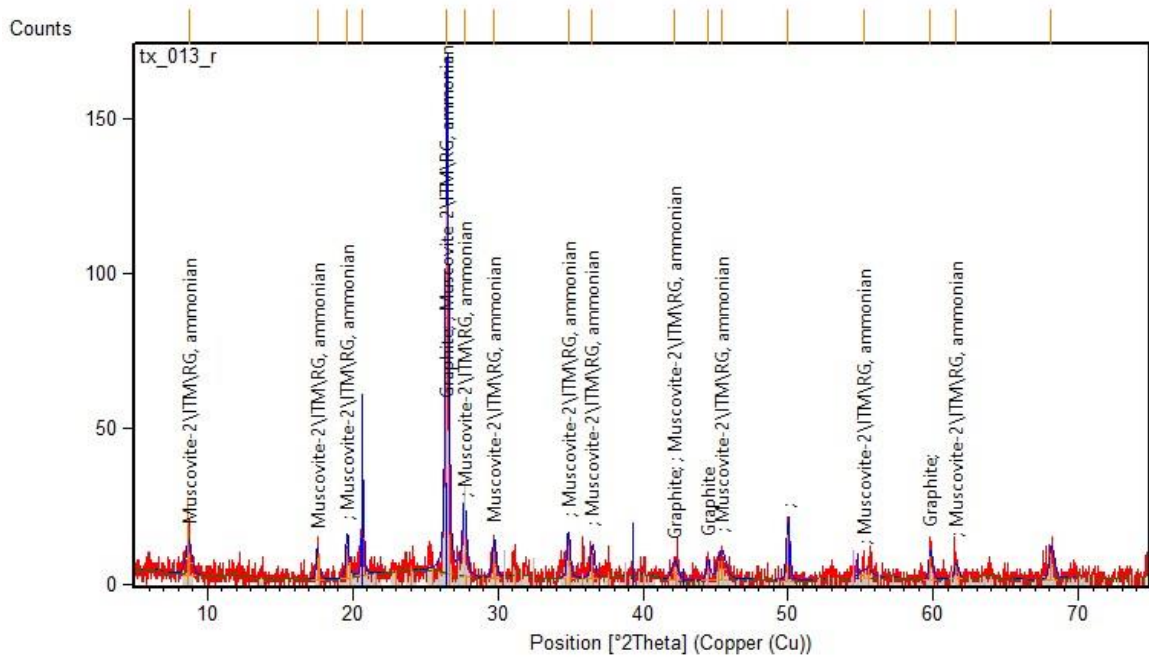


Figura 5.41 DRX Ensayo de Roca Total. Muestra NECH-SUB-013

**Mineralogía DRX: Grafito, Cuarzo, Muscovita**

- Ensayo Orientado

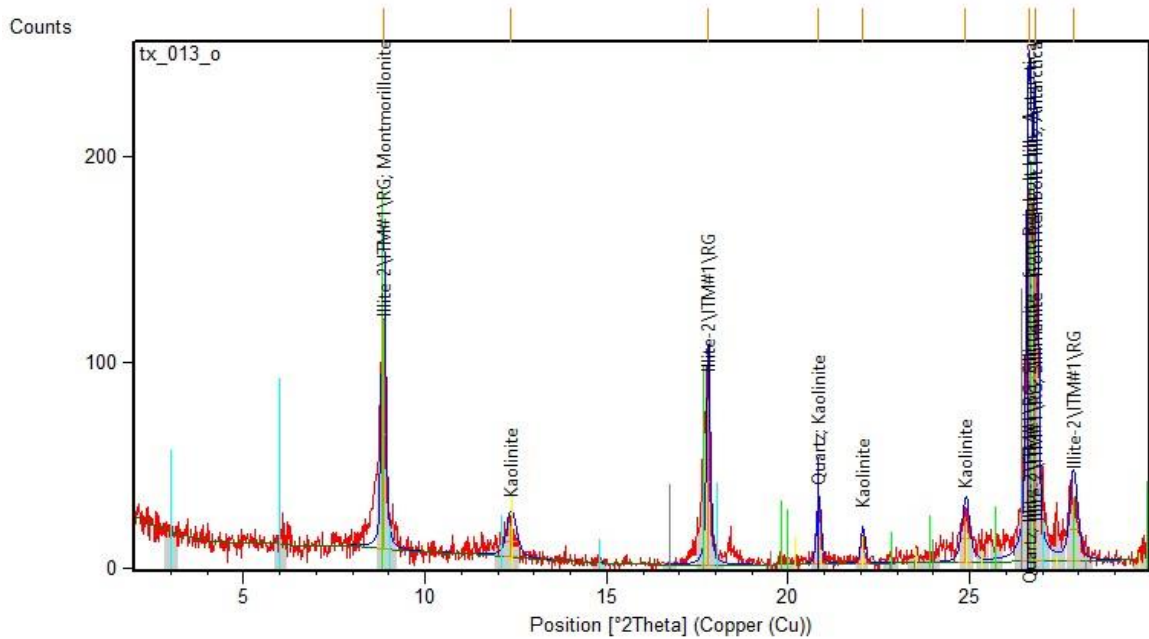


Figura 5.42 DRX Ensayo Orientado. NECH-SUB-013

## Mineralogía DRX: Cuarzo, Illita 2M<sub>1</sub>, Silimanita, Caolinita, Montmorillonita

- Etilenglycol vs Orientado

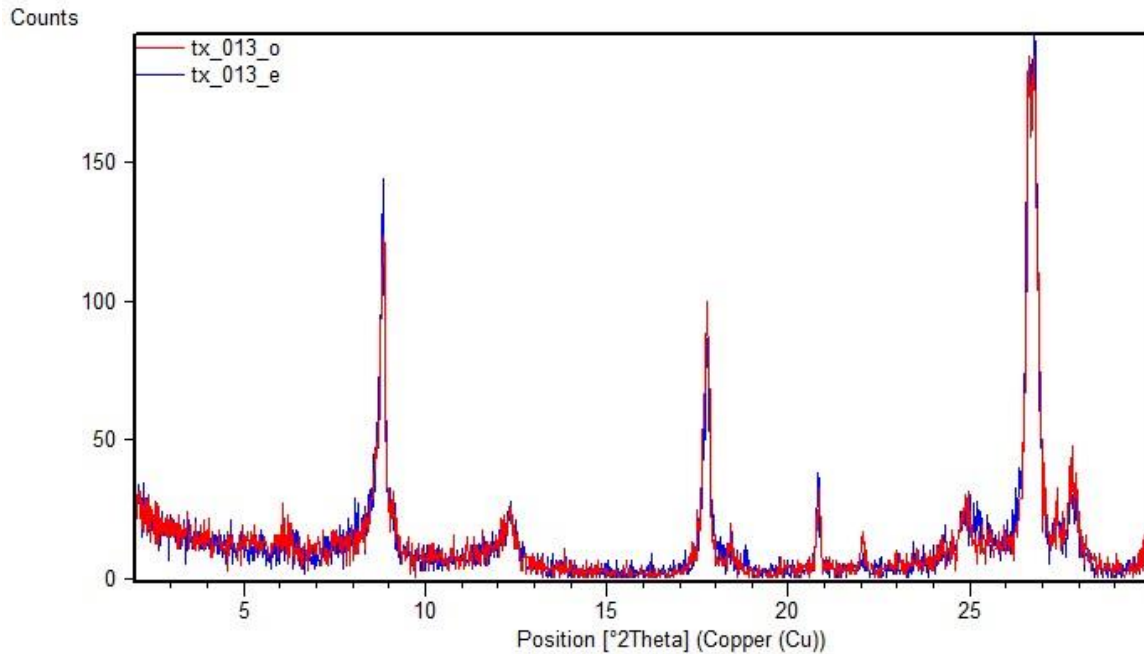


Figura 5.43 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SUB-013

Ubicado al oeste del poblado de Chuspa, cerca de la quebrada de Roncadores, se encuentra ubicado sobre la Formación La Playita. La fuente de sedimentos más cercana son los sedimentos producto de la alteración de la Formación La Playita, así como también la litología proveniente del Terreno Las Mercedes de composición esquisto cuarzo-micaceo-feldespatico-grafitoso. La mineralogía identificada en DRX coincide con la descrita en ambas unidades.

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y con etilenglycol no muestra ningún tipo de cambios significativos, se recomienda realizar más ensayos para verificar la existencia de especie montmorillonita identificada en condiciones de aire seco.

El origen del material arcilloso está asociado muy probablemente a la alteración geoquímica de los sedimentos provenientes de las distintas fuentes.

**Muestra: NECH-SUC-014**

- Ensayo Roca Total

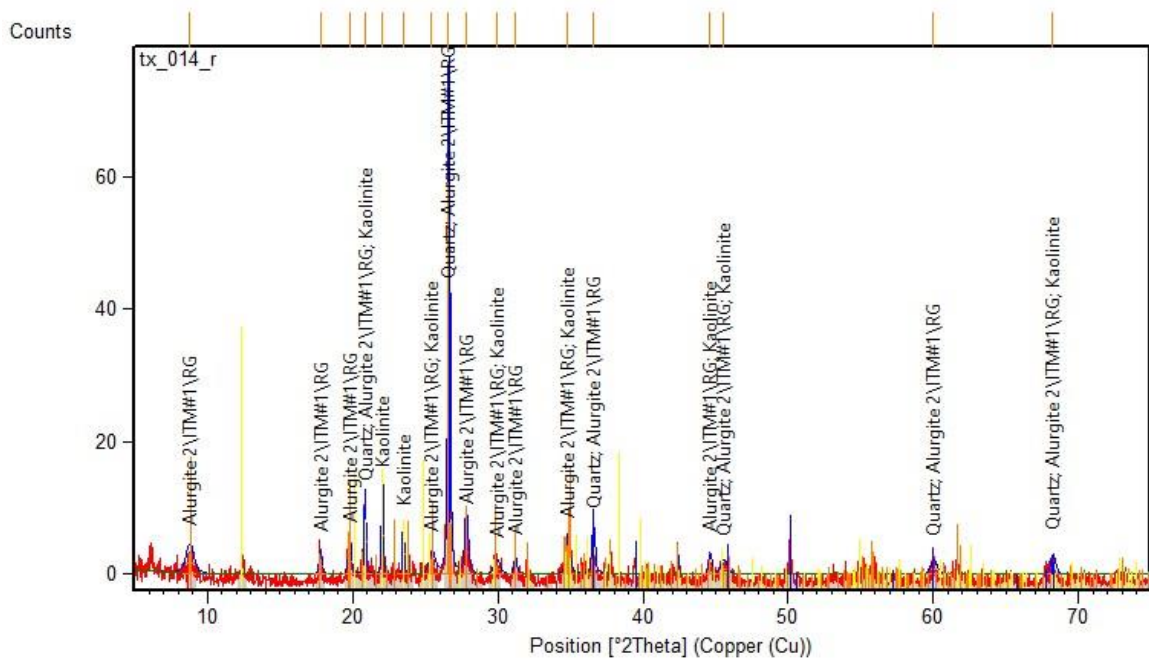


Figura 5.44 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SUC-014

**Mineralogía DRX: Cuarzo, Alurgita 2M<sub>1</sub>, Caolinita**

- Ensayo Orientado

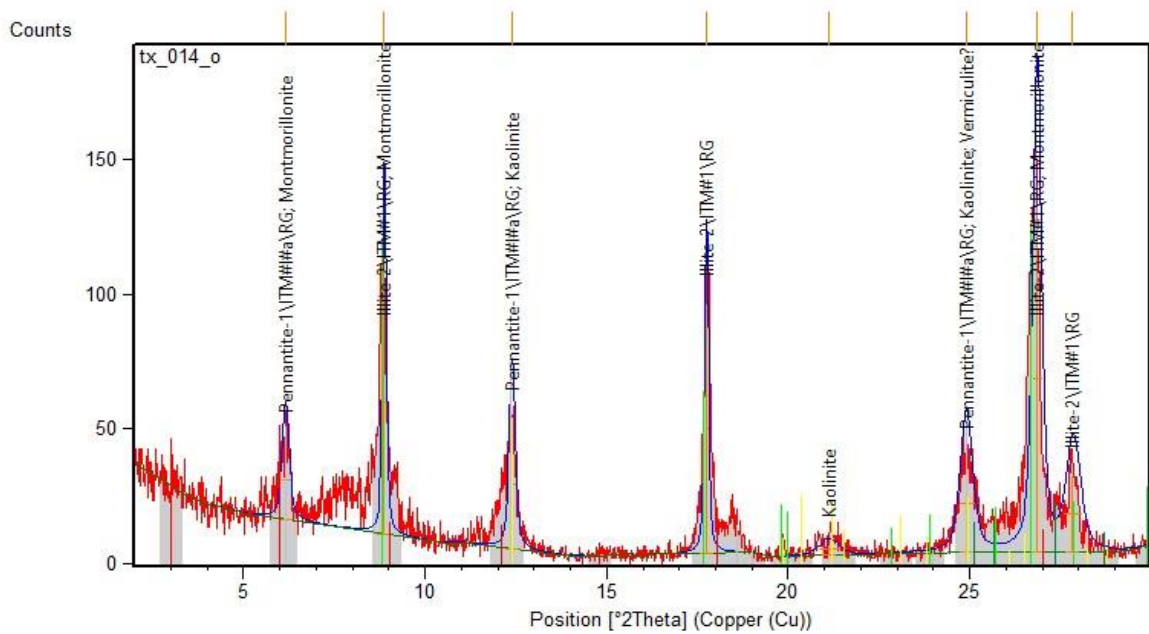


Figura 5.45 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SUC-014

**Mineralogía DRX:** Pennatita 1M, Ilita 2M<sub>1</sub>, Caolinita, Montmorillonita, Vermiculita

- Etilenglycol vs Orientado

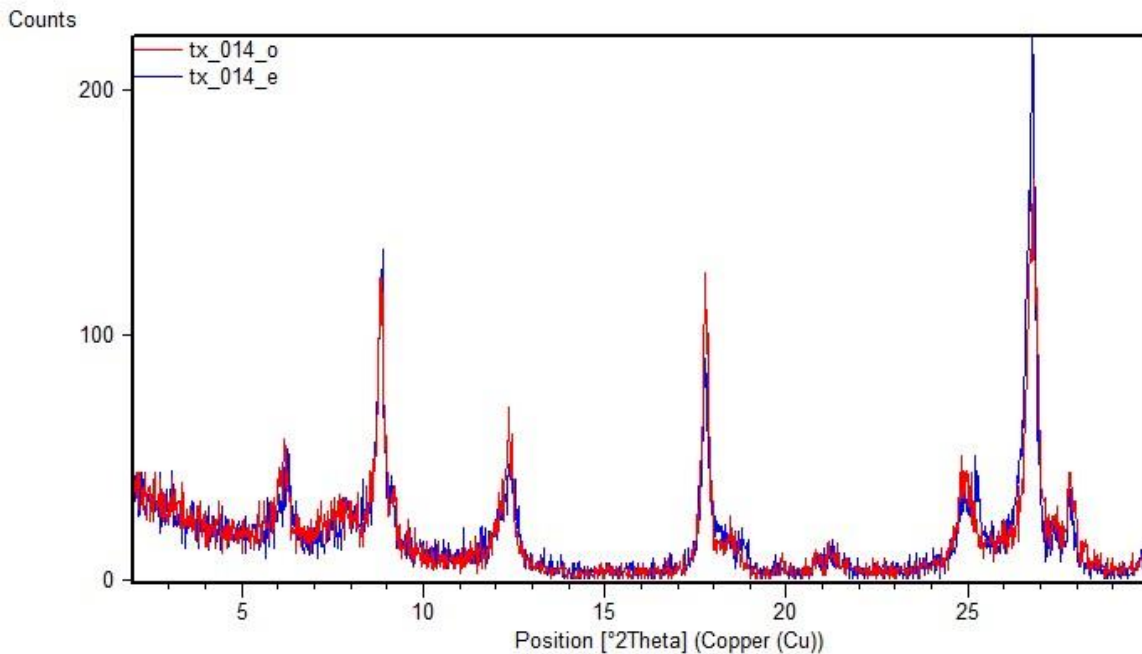


Figura 5.46 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEC-014

La muestra se encuentra ubicada en la mitad de la quebrada de Roncadores, la misma fue recolectada a través de una calicata en medio de la carretera, se encuentra sobre la Formación La Playita.

La mineralogía obtenida en DRX arroja un gran contenido en ilita, además fue posible identificar otras especies de arcilla, como la caolinita y montmorillonita.

El origen de la ilita se debe a que la muestra fue recolectada de suelos residuales de formación *in situ*, los cuales se han enriquecido de la meteorización de grandes espesores de lutita de la Formación La Playita ricos en muscovita.

La aparición de la especie montmorillonita-vermiculita no fue posible de determinar, debido a que el ensayo de etilenglicol no muestra grandes desplazamientos de la gráfica que permitan comprobar la existencia de montmorillonita, pero a su vez tampoco muestra de manera correcta un primer pico angosto que permita identificar la presencia de vermiculita.

**Muestra: NECH-SEB-015**

- Ensayo Roca Total

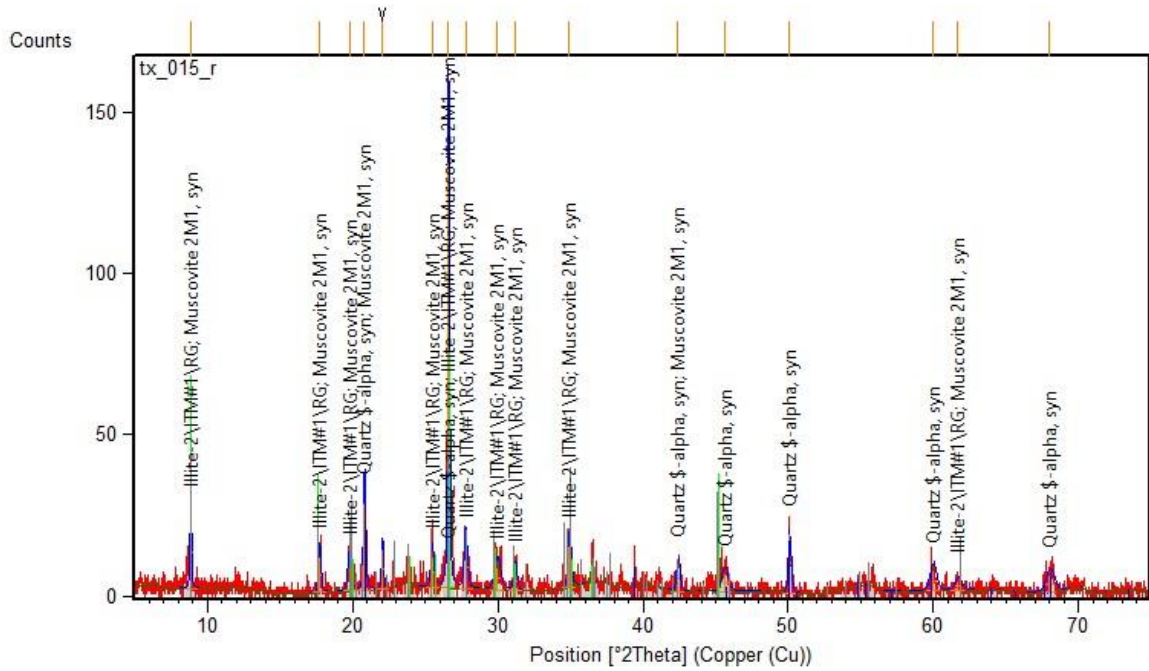


Figura 5.47 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEB-015

**Mineralogía DRX: Cuarzo Alfa, Illita 2M<sub>1</sub>, Muscovita 2M<sub>1</sub>**

- Ensayo Orientado

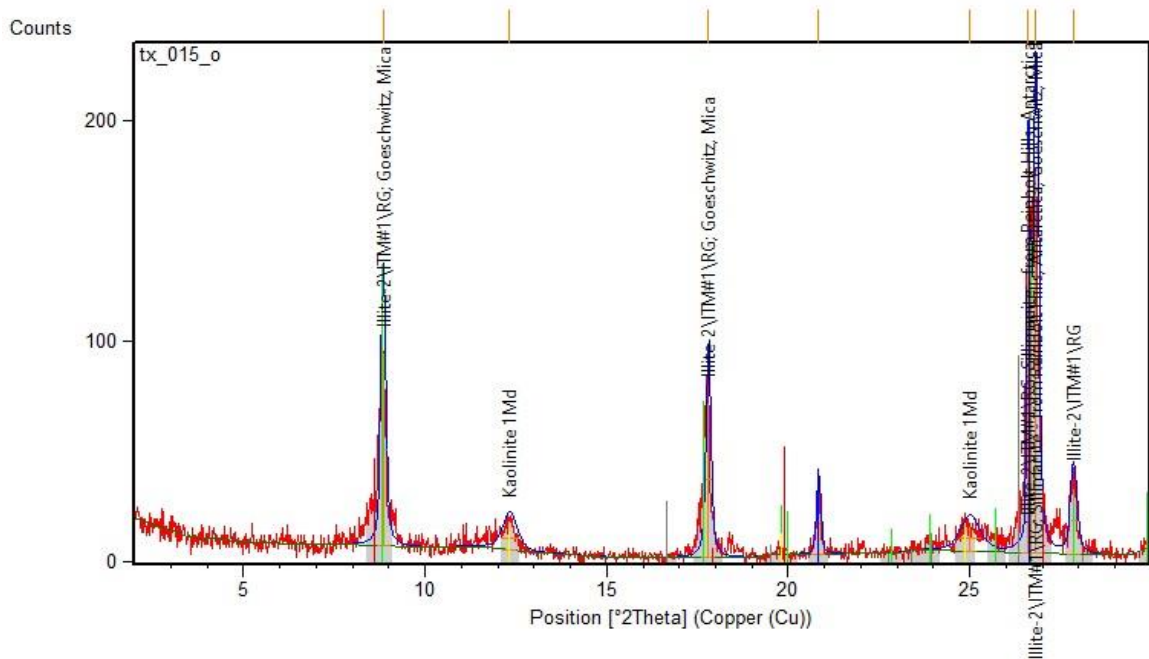


Figura 5.48 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEB-015

## Mineralogía DRX: Cuarzo, Illita 2M<sub>1</sub>, Silimanita, Caolinita 1Md, Mica

- Etilenglycol vs Orientado

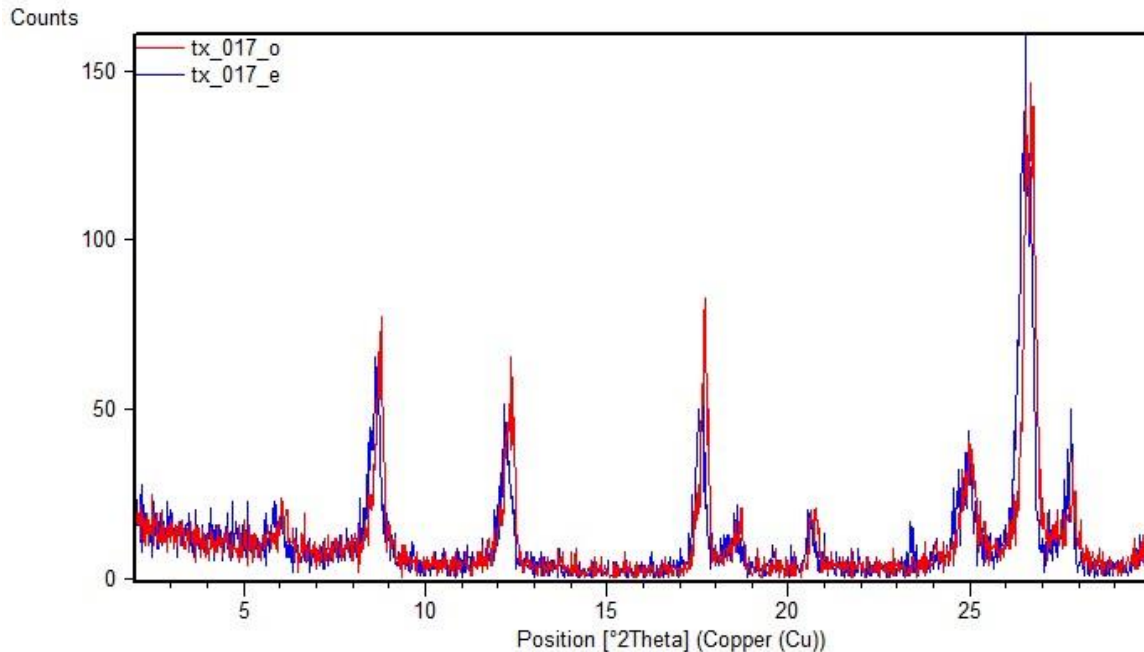


Figura 5.49 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SEB-015

Ubicado entre las quebradas Roncadores y Los Pozos se encuentra un afloramiento de lutitas. La mineralogía determinada por medio de DRX coincide con las lutitas descritas en la Formación La Playita.

Los principales minerales de arcilla encontrados fueron la illita y la caolinita. Al igual que las muestras anteriores, la abundancia de minerales del grupo de las micas se debe a que el afloramiento no se encuentra muy meteorizado, impidiendo la degradación de los minerales del grupo de las micas.

La gráfica comparativa entre la muestra orientada y la expuesta a etilenglycol no muestra ningún tipo de cambios significativos, se recomienda realizar más ensayos para verificar la existencia de especies expansivas.

### **Muestra:** NECH-SUB-016

El material recolectado no presentó el mínimo requerido en granulometría menor a las 200 micras, por lo que fue apartado de los análisis en DRX.





**Mineralogía DRX:** Illita 2M<sub>1</sub>, Silimanita, Caolinita-Montmorillonita, Caolinita 1Md, Montmorillonita, Vermiculita

- Etilenglycol vs Orientado

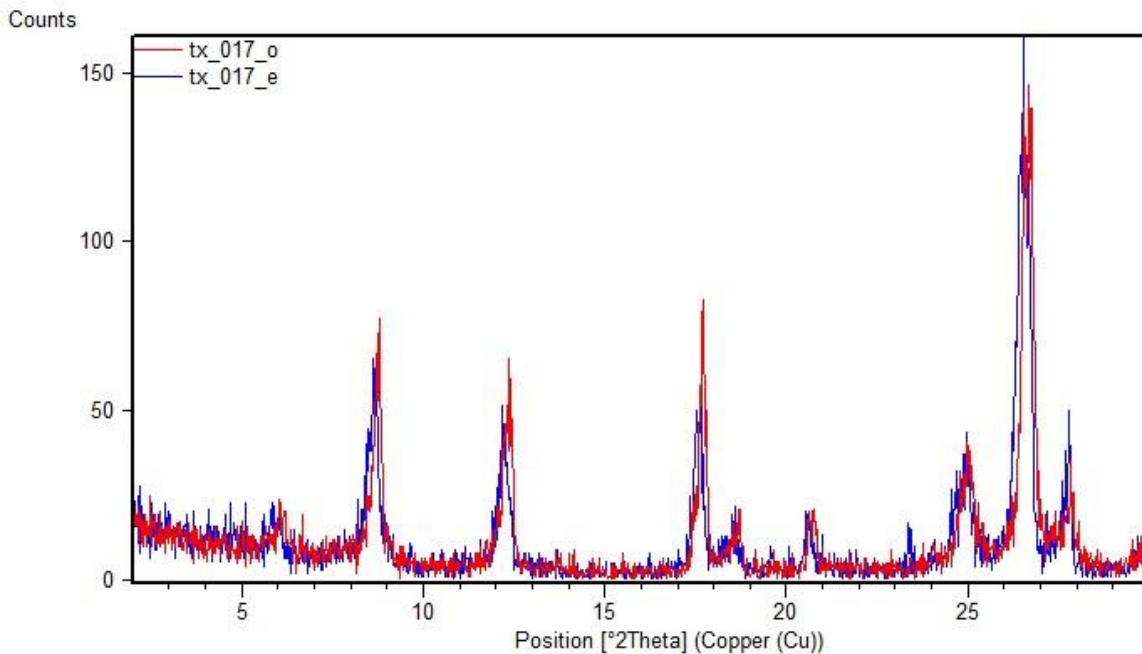


Figura 5.52 Comparación del ensayo Etilenglycol vs Orientado. Muestra NECH-SUB-017

Ubicado en la ladera oeste de la quebrada Los Pozos, sobre material cuaternario no caracterizado. La mineralogía DRX arroja minerales ricos en aluminio, así como también grafito.

Los minerales de arcilla identificados fueron la caolinita, la montmorillonita y la vermiculita; la presencia de grafito en la muestra se debe a una importante influencia de sedimentos provenientes del Terreno Las Mercedes, así como de la meteorización de la Formación La Playita.

En la gráfica que compara las muestras orientadas expuestas a aire seco con las expuestas a etilenglicol se observa como existe un desplazamiento en la gráfica hacia la izquierda en las que fueron expuestas a etilenglicol, por lo que se confirmó la existencia de la especie montmorillonita. Sin embargo, para dar mayor fiabilidad se recomienda exponer a la muestra a temperaturas cercanas a los 400°C durante 60 minutos, para así registrar su comportamiento.

**Muestra: NECH-SEC-020**

- Ensayo Roca Total

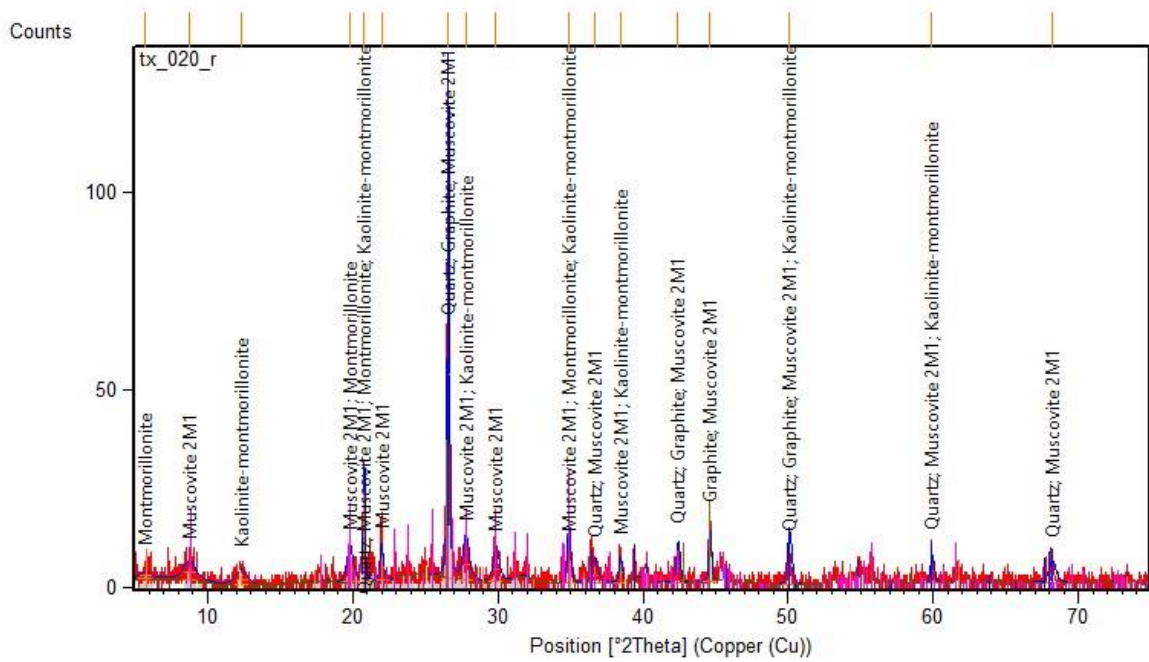


Figura 5.53 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEC-020

**Mineralogía DRX: Cuarzo, Grafito, Muscovita 2M<sub>1</sub>, Montmorillonita, Caolinita  
Montmorillonita**

- Ensayo Orientado

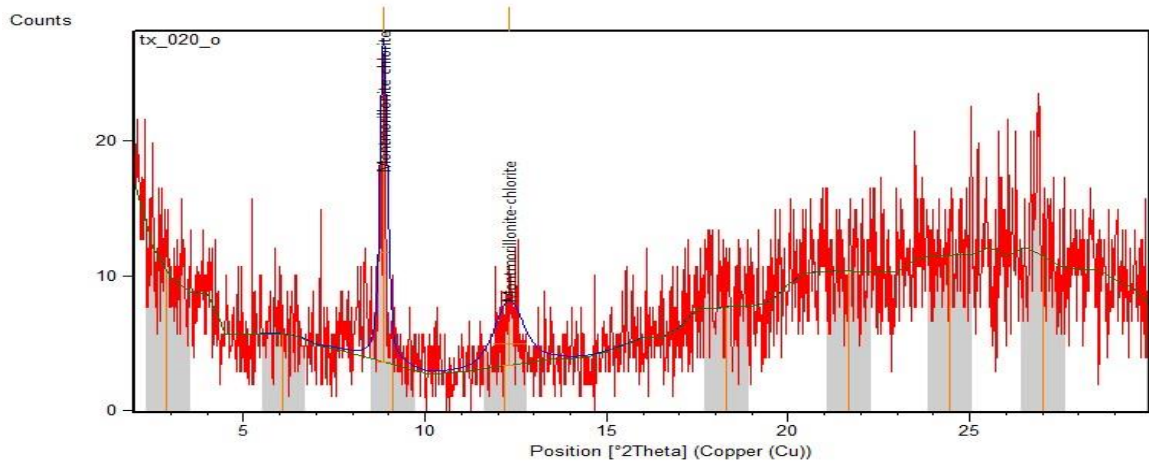


Figura 5.54 DRX Ensayo Orientado: Muestra NECH-SEC-020

**Mineralogía DRX: Montmorillonita-Clorita**

Se encuentra ubicado al este del pueblo de Chuspa, sobre un material cuaternario no caracterizado, muy cerca de un afloramiento con litología esquistosa. La fuente de sedimentos más cercana es la litología del Terreno Las Mercedes de composición esquistoso cuarzo-micáceo-plagioclásico-grafitoso. No se descartan aportes más lejanos, como los del Terreno Ávila (Gneis de Peña de Mora). La mineralogía identificada en los análisis corresponde con las micas, cuarzo y grafito presente en estas unidades.

La generación de los minerales, tipo arcilla, se pudieron haber originado por la descomposición geoquímica de las especies micáceas de estas unidades.

**Muestra: NECH-SEB-021**

- Ensayo Roca Total

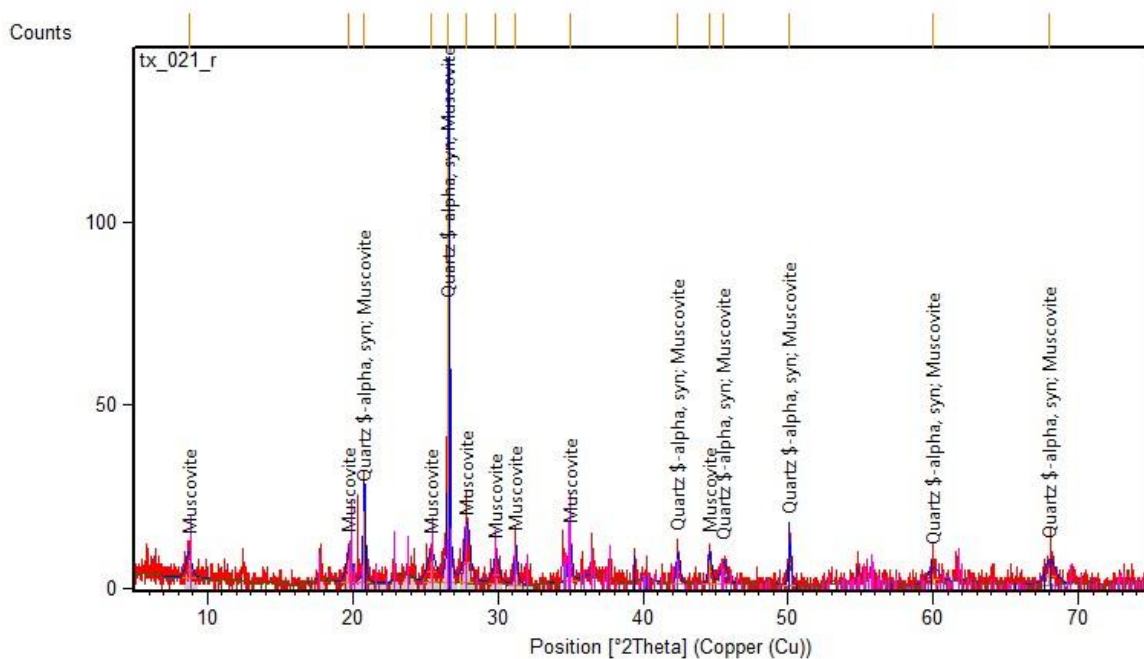


Figura 5.55 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SEB-021

**Mineralogía DRX: Cuarzo Alfa, Muscovita**

- Ensayo Orientado

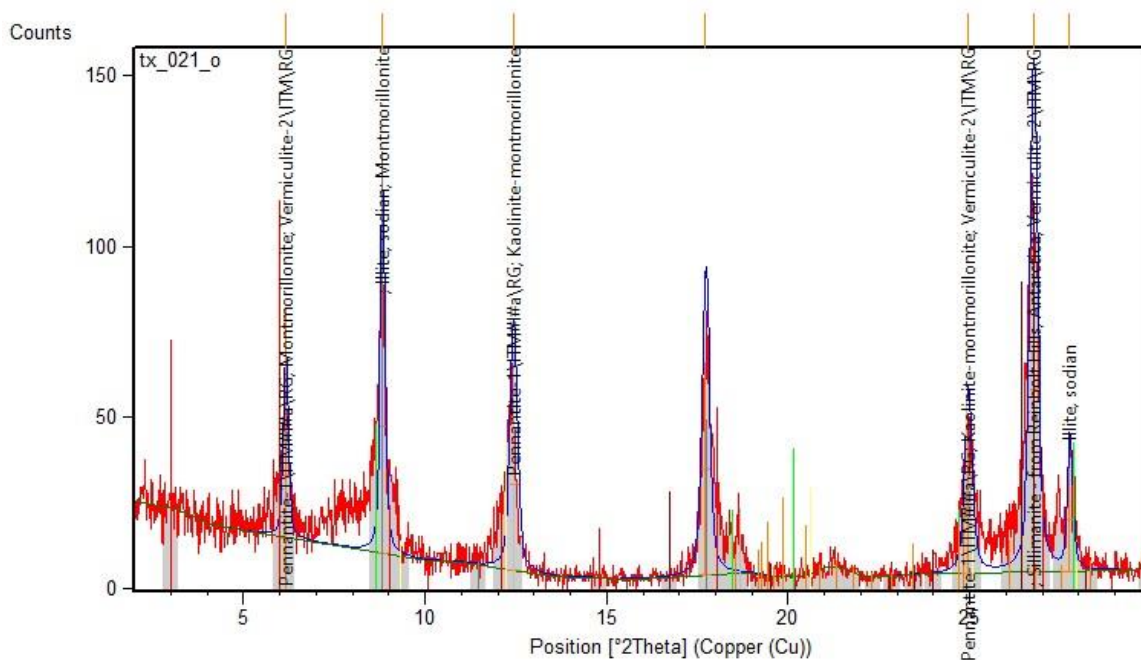


Figura 5.56 DRX Ensayo Orientado. Muestra NECH-SEB-021

**Mineralogía DRX:** Pennatita 1M, Silimanita, Illita Sódica, Caolinita-Montmorillonita, Montmorillonita, Vermiculita 2M

Se encuentra ubicado cerca del poblado de Chuspa y se trata de un afloramiento de lutitas correspondientes a la Formación La Playita. La mineralogía obtenida por DRX coincide con la litología del material lutítico de la Formación La Playita.

**Muestra: NECH-SUB-022**

- Ensayo Roca Total

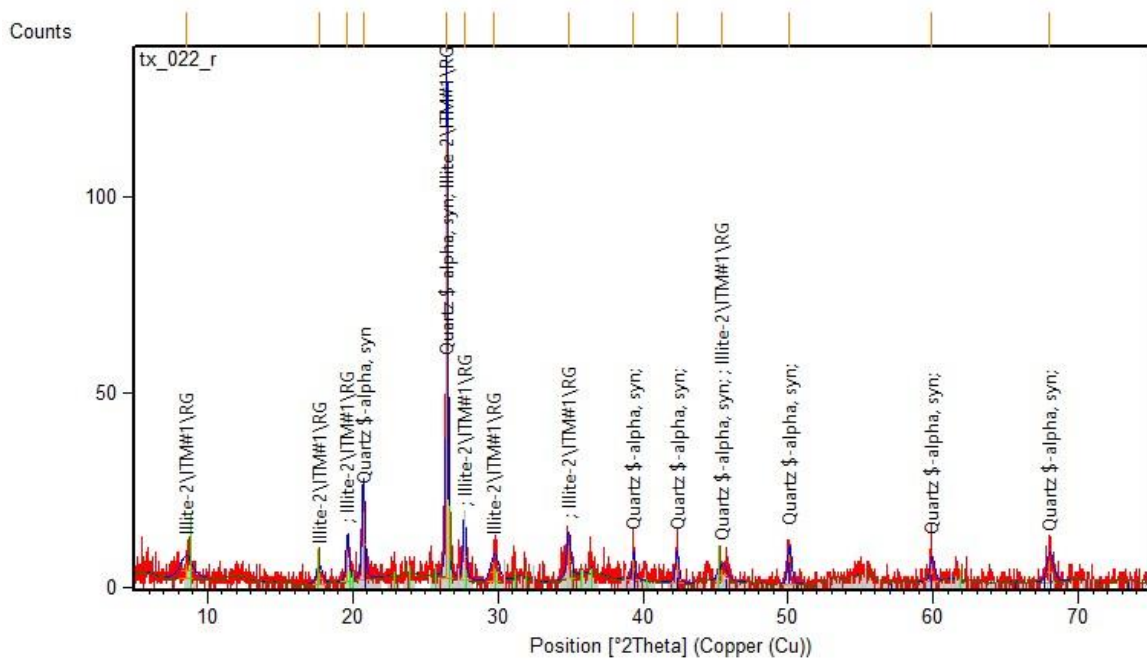


Figura 5.57 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SUB-022

**Mineralogía DRX: Cuarzo Alfa, Illita 2M<sub>1</sub>**

La muestra fue recolectada de un afloramiento de lutitas pertenecientes a la Formación La Playita. La mineralogía obtenida indica una gran cantidad de la especie mineral Illita. El origen de dicho mineral puede deberse a la descomposición de minerales del grupo de las micas, característico de la Formación La Playita.

## Muestra: NECH-SUB-023

- Ensayo Roca Total

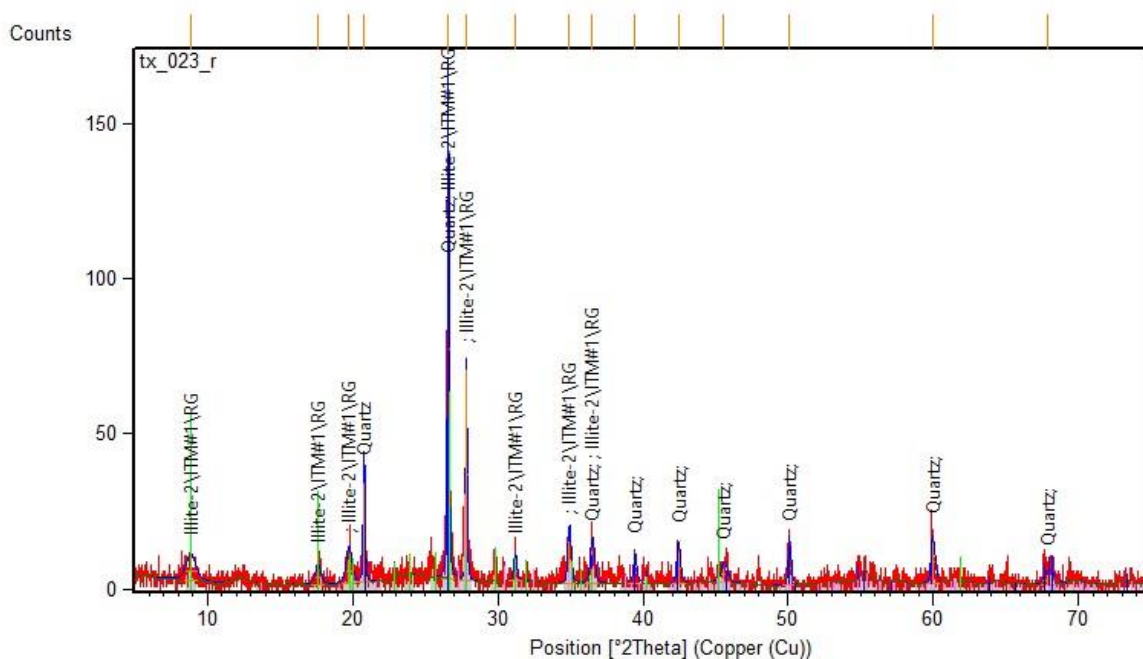


Figura 5.58 DRX Ensayo Roca Total. Muestra NECH-SUB-023

### Mineralogía DRX: Cuarzo, Illita 2M<sub>1</sub>

Ubicado en la ladera oeste del río Chuspa, sobre un material cuaternario con una visible influencia de la Formación La Playita y de la litología del Terreno Las Mercedes. La mineralogía obtenida indica la presencia de mineral de arcilla de la especie illita, con un posible origen en la alteración química de las rocas del Esquisto Las Mercedes y del material lutítico de la Formación La Playita.

#### V.2.2.2 Síntesis de la zona

Todas las muestras de esta zona fueron tomadas al oeste del pueblo de Chuspa, ubicando la gran mayoría de los puntos en quebradas donde aflora la Formación La Playita, es por ello por lo que gran cantidad de muestras de esta zona corresponde a sedimentos estratificados.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de DRX, acompañado de la recopilación bibliográfica y los apuntes obtenidos en campo, es posible determinar que la zona de estudio corresponda a la segunda facies de la Formación La Playita, la cual se caracteriza por presentar intercalaciones de limolitas, fanglomerados,

conglomerados, lutitas y grauvacas. Las limolitas son de colores gris oscuro, hacia la base son arcillosas, mientras que hacia el tope se observan esporádicos guijarros finos. Los fanglomerados, por lo general, se presentan en forma de lentes, los granos angulares a redondeados son de rocas metamórficas, mica, cuarzo y feldespato. Las lutitas son limosas, de color gris oscuro que meteorizan en gris claro-ocre, de consistencia poco consolidada, con laminación paralela. Los conglomerados de guijarros son mal escogidos, de grano subangular a redondeado de rocas metamórficas y cuarzo, con matriz arenácea. Las grauvacas son de grano medio y color gris, que meteorizan en ocre, con granos mal escogidos de esquistos, gneises y micas, en feldespatos y cuarzo.

La evidencia que ubica a las muestras, en esta segunda facies, apunta precisamente a esto, ya que en la mayoría de los análisis de esta zona fue posible identificar algunos minerales de arcilla por medio del ensayo de roca total, indicando que no existe una variación mineralógica, sino más bien, la mayoría de los minerales identificados han logrado ser identificado en campo y los cuales coinciden con los descritos en dicha Formación.

La abundancia de micas presentes en los ensayos puede deberse a que la región no ha sido muy meteorizada, impidiendo que se formen grandes espesores de material *in situ*, el cual estaría enriquecido por la degradación de los minerales del grupo de las micas.

A diferencia de la zona de La Sabana, en Chuspa no se ve una fuerte influencia de sedimentos de distintas fuentes, ya que predominan los sedimentos de la Formación La Playita, evitando que se generen suelos cuaternarios aun sin diferenciar.



Figura 5.59 Ubicación de muestras de la zona de Chuspa

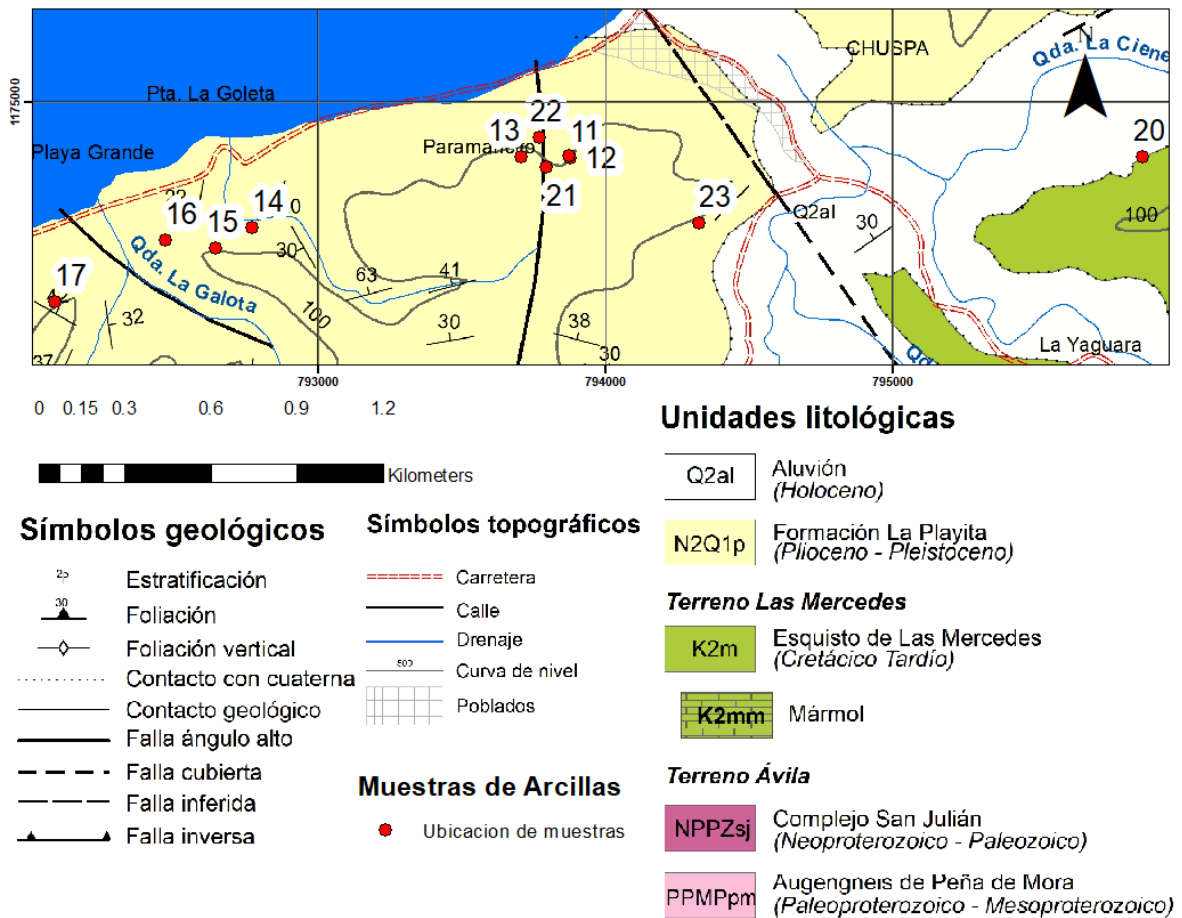


Figura 5.59 ubicación de las muestras NECH-SEC-011; NECH-SEC-012; NECH-SUC-013; NECH-SUC-014; NECHSEB-015; NECH-SUB-016; NECH-SUB-017; NECH-SEB-020; NECH-SEB-021; NECH-SUB-022; NECH-SUB-023

### V.3 SÍNTESIS GENERAL DE LOS MINERALES DE ARCILLA IDENTIFICADOS POR DRX

En general, el principal aporte para la generación de minerales de arcilla en la zona de estudio está dominado por la Formación La Playita, el Terreno Las Mercedes y el Terreno Tacagua. Las litologías metamórficas (Terreno Tacagua y Las Mercedes) están compuestas por minerales como la muscovita y plagioclasas de tipo albita, perfectos para la formación de suelos arcillosos; mientras que la Formación Las Playitas se caracteriza por presentar espesores lutíticos intercalados por material arenoso.

Algunas excepciones y menos mayoritarias, principalmente en La Sabana, son del Terreno Ávila, con las subunidades del Complejo San Julián y Augengneis de Peña de Mora; los cuales se encuentran aflorando en las zonas más altas de la cuenca. Este terreno se caracteriza por estar compuestos mineralógicamente de plagioclasas y filosilicatos como la muscovita, biotita y clorita, los cuales también sirven de fuente para la generación de minerales de arcilla como la illita. Es importante destacar que las zonas que se ven más influenciadas por esas litologías son las que se encuentran en las desembocaduras de afluentes principales, los cuales son los responsables de transportar estos sedimentos, desde la parte alta de la cuenca.

En comparación con otras zonas de estudio, Chuspa presentó el mayor porcentaje de minerales de arcilla. Esto se debe, en parte, a que esta zona ha sido menos influenciada por sedimentos provenientes del Terreno Tacagua y el Terreno Las Mercedes. La mayoría de las muestras recolectadas en Chuspa fueron de suelos de formación *in situ*, producto de la meteorización de la Formación La Playita.

A pesar de que las muestras recolectadas en la zona de La Sabana se encuentran sobre la unidad sedimentaria de La Playita, éstas están siendo altamente influenciadas por sedimentos provenientes de las zonas más altas de la cuenca. Esto ha generado espesores de suelo que se han visto enriquecidos por la meteorización de la Formación La Playita, así como de sedimentos provenientes de litologías del Terreno Las Mercedes y del Terreno Tacagua. Como resultado, se han generado unidades cuaternarias sin diferenciar. Es importante recordar que la mineralogía de las arcillas está influenciada por factores como el clima, el relieve y la composición de la roca madre.

El mineral de arcilla predominante fue la illita, encontrándose en la mayoría de las muestras estudiadas, tanto en los suelos residuales de origen *in situ* como en las unidades cuaternarias sin diferenciar.

#### **V.4 USO DE LA ARCILLA**

Actualmente, no se encontraron registros de fábricas que utilicen las arcillas de la zona de estudio, debido a que no es de fácil acceso y que gran parte del material se encuentra sobre zonas pobladas. Sin embargo, gran parte de la población utiliza este material arcilloso como materia prima, gracias a su gran capacidad plástica al ser mezclada con agua y material fibroso para la construcción de refugios de animales de cultivo.

Teniendo en cuenta que las industrias del país que emplean, como materia prima, los minerales de arcilla tienden a darle mayor importancia a las propiedades físicas, que a valorar su mineralogía. Es importante plantear posibles usos del material caracterizado en función de los minerales encontrados.

- La importante presencia de illita y caolinita en la mayoría de las muestras analizadas permiten establecer que el mejor uso para las arcillas caracterizadas es el de alfarería. Es importante mencionar que es necesario conocer por medio de otros estudios la proporción de óxidos de hierro presente, en función de establecer si la especie es una arcilla roja o una arcilla blanca.
- Los minerales, antes mencionados, también son ideales para la industria de la cerámica, pero, sigue siendo importante realizar estudios que permitan evaluar la presencia de materia orgánica, con el fin de que sea lo más bajo posible para que pueda ser aprovechado por la industria nacional.
- En las muestras donde el mineral identificado, en mayor proporción, fue la caolinita, se recomienda que el mismo sea empleado en industrias como la del papel, el caucho e incluso en la farmacéutica (en la fabricación de pastillas).
- Se hace indispensable una investigación más profunda haciendo énfasis en estudios de cuantificación y caracterización a las muestras donde se identificó la especie montmorillonita, a fin de poder definir si la arcilla caracterizada en el área puede ser reconocida como “arcilla bentonita”. Es importante mencionar que las arcillas con altos niveles de montmorillonita pueden ser tratadas a razón de ser consideradas bentonitas. Las mayores aplicaciones para la arcilla

bentonita a nivel mundial son la de absorbentes, refinación, fundición y como parte del fluido de perforación.

- La presencia de montmorillonita en la zona puede ser utilizado como especie mineral en estricto sentido, ya que posee aplicaciones industriales en cosméticos, detergente, fertilizante, clarificación de aguas, entre otros.
- Si se considera únicamente la naturaleza de las especies minerales caracterizadas, se puede lograr establecer que la zona presenta minerales expansivos como la montmorillonita y en menor grado de expansión la illita. Gracias a esto, se aconseja que cualquier obra realizada en el área tome en cuenta la evaluación mineralógica de la fracción de arcilla dentro de los estudios geotécnicos.

## CAPITULO VI. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VI.1 SUMARIO

Durante la realización del estudio se analizaron una media de 30 datos de trabajos académicos y perforaciones con interés geotécnico de donde se extrajeron los puntos de interés. Estos datos contaban con descripciones texturales de posible material arcillosos en la región; la información recuperada se integró con las descripciones litológicas existentes de la zona, lo que permitió ubicar las zonas potenciables para realizar el muestreo, algo muy importante, ya que durante la etapa de recopilación de información no se encontró mucha información relacionada con análisis mineralógicos, debido a que la mayoría de la información estaba relacionada con descripciones texturales.

Para la metodología de muestreo se utilizó el manual el *Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería* (INGEOMINAS, 2011) el cual sigue la recomendaciones del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP).

La etapa de recolección de datos en campo resulto bastante compleja debido a las dificultades en las vías de acceso, así como también a distintas variantes climatológicas. Sin embargo, fue posible obtener muestras en cada uno de los puntos visitados.

La mayoría de las muestras de sedimentos recuperadas fueron tomadas sobre el cuerpo sedimentario Formación La Playita, con excepciones en otras unidades geológicas principalmente de roca metamórfica, así como también, de unidades cuaternarias no identificadas.

En total se visitaron 23 zonas y se lograron recuperar 23 muestras representativas a la zona de estudio.

Con respecto a la etapa de laboratorio se siguieron las metodologías explicadas por Fournier (1999) en su trabajo especial de grado "*Estudio de los minerales de arcilla en la sección de Agua Blanca - Altagracia de Orituco*" en donde hace énfasis en cómo preparar las muestras con fracción menor a las 2  $\mu$  (micras) para ensayos DRX.

Los análisis de DRX realizados a las 23 muestras recolectadas, permitieron identificar cada uno de los minerales que componían a los sedimentos, haciendo mayor énfasis en los diferentes tipos de arcilla encontrados.

Toda la información recopilada y generada para este estudio permitió generar una base de datos en formato *Microsoft Excel* bastante complejo, donde se encuentran cada una de las ubicaciones de las muestras acompañado de su descripción mineralógica y un posible uso comercial.

## **VI.2 CONCLUSIONES**

Se identificaron minerales de arcilla en 21 de las 23 muestras recolectadas, en dichas muestras, los minerales de arcilla encontrados fueron illita, caolinita, montmorillonita, vermiculita, caolinita-montmorillonita.

En general se determinó que el principal aporte sedimentario para la formación de minerales de arcilla en la zona de estudio provenía de la Formación La Playita. Esta Formación aporta minerales como la muscovita y feldespatos ricos en potasio, que con las condiciones ideales de clima y temperatura son capaces de formar arcillas. Es importante destacar que unidades como el Terreno Tacagua y el Terreno Las Mercedes también son fuente importante de sedimentos (principalmente para la zona de La Sabana) ya que estos Terrenos están compuestos por litologías ricas en minerales del grupo de las micas y en grafito, el cual ha sido identificado en los difractogramas de las muestras ubicadas en la zona de la Sabana.

Otras excepciones minoritarias corresponden al Terreno Ávila, específicamente a las unidades del Complejo San Julián y Aungengneis de Peña de Mora, ubicados en las zonas más altas de la cuenca. En este Terreno es común encontrar minerales como la albita y filosilicatos del grupo de las micas como muscovita, biotita y clorita, que también ayudan a la generación de minerales arcillosos.

El principal mineral de arcilla encontrado fue la illita, hallándose en la mayoría de las muestras, ya sean en muestras tomadas sobre suelos de posible formación *in situ* como en las tomadas sobre unidades cuaternarias aun no identificadas e incluso en las muestras de sedimentos estratificados tomados directos del afloramiento.

Esta información se vio traducida en 13 mapas geológicos a escala 1:25.000, 1 mapa general a escala 1:100.000, así como del proyecto GIS que incluye toda la información vectorial y tabla de atributos.

Para finalizar, se generó una base de datos en el programa *Microsoft Excel*, en la que se incluyó toda la información obtenida en el transcurso de la investigación, anexando las planillas de reportes utilizadas en la etapa de campo, las ubicaciones

en coordenadas UTM, las fotografías de cada uno de los puntos de muestreo y los difractogramas de DRX obtenidos en la etapa de laboratorio.

### **VI.3 RECOMENDACIONES**

- A fines de ampliar la investigación se recomienda realizar análisis mineralógicos de los sedimentos que comprenden el sector de Carayaca, de los cuales no se tienen ningún tipo de registro.
- Se recomienda realizar una revisión a las unidades cuaternarias no identificados, con la finalidad de lograr caracterizarlas con la información mineralógica obtenida.
- Es conveniente realizar ensayos geotécnicos a los sedimentos encontrados en toda la zona de estudio, ya que en la mayoría de los caso se identificó la especie montmorillonita, la cual corresponde a un mineral expansivo.
- Es recomendable verificar la mineralogía de arcillas de los datos recogidos por Tarache (1975), pues la mayoría de los puntos de muestro se encuentran en zonas ahora pobladas.
- Se recomienda encarecidamente que se realicen los ensayos de calentamiento a 400°C y 550°C al material recolectado, para así lograr una identificación más precisas de las especies expansivas. Al mismo tiempo que se recomienda realizar ensayos más precisos que permitan determinar propiedades físicas cómo la plasticidad, expansibilidad, entre otros.
- Establecer como elemento primordial para futuros trabajos la identificación de los picos de 14Å sobre muestras tratadas a 400°C y 550°C, a razón de que la única manera de diferenciar las especies de clorita y vermiculita es realizando este procedimiento.
- Se sugiere que para futuros estudios geotécnicos a realizarse en el estado La Guaira se incluyan análisis DRX para la fracción de arcilla.
- A fin de complementar los estudios realizados se sugiere la realización de análisis como la fluorescencia de rayos x, cosa que permita cuantificar los porcentajes químicos presentes en las muestras y determinar de mejor manera sus posibles usos.

- En caso de encontrarse grandes concentraciones de minerales de arcilla con interés económicos, se recomienda realizar estudios que permitan determinar los volúmenes de los depósitos.



## BIBLIOGRAFÍA

- AGUERREVERRE & ZULOAGA. (1937). *Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa. Venezuela. Bol. Geol y Min., Caracas, 1(2-4): 322.*
- AGUERREVERRE & ZULOAGA. (1938). *Nomenclatura de las formaciones de la parte central de la Cordillera de la Costa. Bol. Geol. y Min., Caracas, 2(2-4): 281284.*
- ASUAJE G. (1972). *Geología de la región de Guatire-Cabo Codera. Cong. Geol. Venezuela. IV, Caracas, Nov. 1969, Mem., Bol. Geol., Public. Esp. 5 III:1289.*
- AUDEMARD F., F. DE SANTIS, A. SINGER & C. RAMOS. (1995). *Sistema de fallas de La Victoria, Venezuela Norcentral: Trazas activas, complejidades estructurales, cinemática y sismicidad asociada. FUNVISIS. IX Congreso Latinoamericano de Geología. Caracas.*
- BAILEY, W., CHAIRMAN, S. (1980). *Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee on clay minerals American mineralogist. 65: 1-7, Department of Geology and Geophysics. University of Wisconsin-Madison. Madison.*
- BECK C. (1977). *Geología de la Faja Piemontina y del frente de montaña en el norte del estado Guárico. V Congr. Geol. 2: 759-763.*
- BECK C. (1985). *La chaîne Caraïbe au merideien de Caracas: geologie, tectogenese, place dans l'évolution geodynamique Mesozoique-Cenozoique des Caraïbes Meridionales. L'Universite des Sciences et Techniques de Lille, Tesis de doctorado de estado, 462 p.*

- BECK C. (1986). *Geologie de la chaine Caraïbe su meridiem de Caracas* (Venezuela). Soc.Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.
- BOLLI, H. M. Y H. H. KRAUSE, (1964). *Microfósiles del Terciario superior de La Sabana. Distrito Federal. Asoc. Ven. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 7(5): 131-133.*
- BOUSSINGAULT, J. (1974). *Memorias*. J. A. Catalá Editor, Caracas, 315 p.
- BUKOR, K. & TAGLIAFERRO, M. (2004). *Caracterización y cuantificación de sedimentos en la cuenca del Río San José de Galipán, Estado Vargas*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- CANO, P. & MELO, L. (2001). *Reconocimiento geológico entre las cuencas de quebrada seca y río Caribe, estado Vargas*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- CAPPUCCIO, M. (2021). *Caracterización mineralógica de las arcillas del estado Miranda*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado.
- DANA. (1960). *Manual de Mineralogía*. Editorial Reverté. 2da Edición. Madrid España. 446 – 459.
- DE RIVERO, F. (1956) *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. 2da Edición.
- DENGO G. (1951). *Geología de la región de Caracas*. Bol. Geol., Caracas, 1(1): 39 – 115
- FEO-CODECIDO, G. (1962). *Contribución a la geología de Venezuela nor-central*. Bol. Inf., Asoc. Venezolana Geol., Min. y Petrol., 5(5): 119-142.

- FOURNIER, H. (1999) *Estudio de los minerales de arcilla en la sección de Agua Blanca - Altagracia de Orituco, estados Guárico y Miranda*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- GARCÍA, E & SUAREZ, M. (2003). *Las Arcillas: Propiedades Y Usos*. Universidad Complutense, Madrid.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J. & PICARD X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas, 1980, 1era Edición.
- GONZÁLEZ, E. (2021). *Caracterización mineralógica de las arcillas del estado Carabobo*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- HACKLEY, C., F., URBANI (2006). *Mapa geológico de Venezuela: Hoja 1 de 2*. U.S. Geological Survey. Fundación GEOS.
- HENDRICKS, S., W., FRY (1930) *The results of X-ray and microscopical examinations of soil colloids*. Artículo. Jun 1930; SOIL SCI
- HERNÁNDEZ, R (2014). *Geología de la región Terepaima - Sarare - San Rafael de Onoto, estados Portuguesa, Lara, Yaracuy y Cojedes*. UCV-G, 159 p.
- Hurlbult, C., Klein, C (2002). *Manual de mineralogía: Vol 1*. Editorial Reverté.
- HUMBOLDT, A. (1991). *Viaje a las regiones equinociales del viejo continente*. Monte Ávila Editores, Caracas, Tomo II, 458 p.

- INGEOMINAS, (2011). *Manual de geoquímica: Muestreo de Ultra Baja Densidad y de Baja, Media y Alta Densidad*. Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). Bogotá: 121 p.
- INVESTI. (1963). *Arcillas Industriales de Venezuela No. 3*, Caracas, Venezuela.
- LINARES, J. HUERTAS, F & CAPEL, J. (1983). *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada: la arcilla como material cerámico. Características y comportamiento*. Volumen N°8. Granada España, 479-480.
- MENÉNDEZ, A. (1966). *Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol.,MMH*. Caracas. 8(15): 116-139.
- MORALES, N. (2017). *Análisis textural y mineralógico de los sedimentos del tramo costero Catia La Mar- Chichirivivhe de la costa, estado Vargas*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado.
- NAVARRO, E., M. OSTOS & F. YORIS. (1988). *Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico Medio - Paleógeno. Acta Científica Venezolana*, 39: 427-436.
- OSTOS, M. (1981). *Geología de una zona ubicada entre la autopista Caracas- La Guaira y el estribo Galindo, Parque Nacional El Ávila*, D.F. UCV, Escuela de Geología, Trabajo de ascenso, 279 p.
- OSTOS, M. (1990). *Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos*. Geos, Caracas, 30: 1-294.

- PADRÓN, M. (2021). *Caracterización mineralógica de las arcillas del estado Aragua*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado.
- PICARD, X, Y D. GODDARD. (1975). *Geomorfología y sedimentación de la costa entre Cabo Codera y Puerto Cabello*. Asoc. Venez. Geol. Min. y Petrol. Inform., 18(1): 39:106.
- PINDELL, J. & L. KENNAN (2001). *Kinematic Evolution of the Gulf of Mexico and Caribbean*.
- ROSS, C., Y S. HENDRICKS (1943). *Minerals of the montmorillonite group, their origin and relation to soils and clays*. 205.-B, United States Department of the interior. Washington DC.
- SALAS, J. (2021). *Estudio para la caracterización geológica de arcillas en el área metropolitana de Caracas*. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado
- SASTRE, P. (2010). *Sistemas de Información Geográfica (SIG) Técnicas básicas para estudios de biodiversidad*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid España
- SCREMIN. (2019). *Caracterización mineralógica y parámetros geotécnicos de arcillas venezolanas como fuente de lodo bentonítico*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- STEPHAN F., C. BECK, A. BELLIZZIA & R. BLANCHET. (1982). *La chaîne Caraïbe du Pacifique à l'Atlantique*. XXVle. Congr. Geol. Int., París, c-5: 38-59.
- TALUKDAR, S. & LOUREIRO, D. (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*
- TARACHE, C. J., (1975). *Secuencia sedimentaria Terciaria del área de La Sabana, franja costanera de Venezuela. U.C.V. Departamento de Geología. Trabajo Especial de Grado*
- URBANI F. & M. OSTOS. (1989). *El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. Geos, UCV, Caracas, (27): 77-85.*
- URBANI, F. (2000). *Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Geos, UCV, Caracas, (33): 1-170*
- URBANI, F. (2000-a). *Consideraciones geológicas de la catástrofe del estado Vargas de diciembre de 1999. GEOS 35, p 13-22.*
- URBANI, F. (2000-b) *El río Miguelena de Camurí Grande, estado Vargas: Una ventana a la geología de la cordillera de la costa. Guía de excursión. Ediciones Sociedad Venezolana de Geólogos. Caracas.*
- URBANI, F & RODRIGUEZ, J. (2003). *Atlas geológico de la Cordillera de la Costa Venezuela. FUNVISIS. Caracas, Venezuela.*
- URBANI, F. Y RODRÍGUEZ, J. (2004). *Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS. Caracas. pp. 146.*
- URBANI, F. (2012). *La Cordillera de la Costa de Venezuela: evolución de su conocimiento geológico desde el siglo XVI al XXI. U.C.V., Caracas.*
- URBANI, F. (2018). *Una revisión de los terrenos geológicos del Sistema Montañoso del Caribe, norte de Venezuela. Bol. Geo. 23 (13): 118-216.*

WEISBORD, N. (1957) *Notes on the geology of the Cabo Blanco Area, Venezuela. Bull. Amer. Paleont.*, 38 (165): 1-23

Ensayos granulométricos

## ANEXO A



## ANEXO B

### Reporte de los puntos muestreados en campo y registro fotográfico

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SUB-001	50-150	Color: Gris con intercalaciones de un material de color pardo Textura: Material lutítico con presencia de arena	Material lutítico con una pequeña porción de arena y laminaciones de óxido. Presenta horadaciones.



Foto 1. Zona de muestreo NWLS-SUB-001

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SEB-002	-	Color: Gris oscuro Textura: Arenosa	Pasando la zona conocida como "El faro" fue posible identificar material aeno-arcilloso en la base de areniscas conglomeráticas

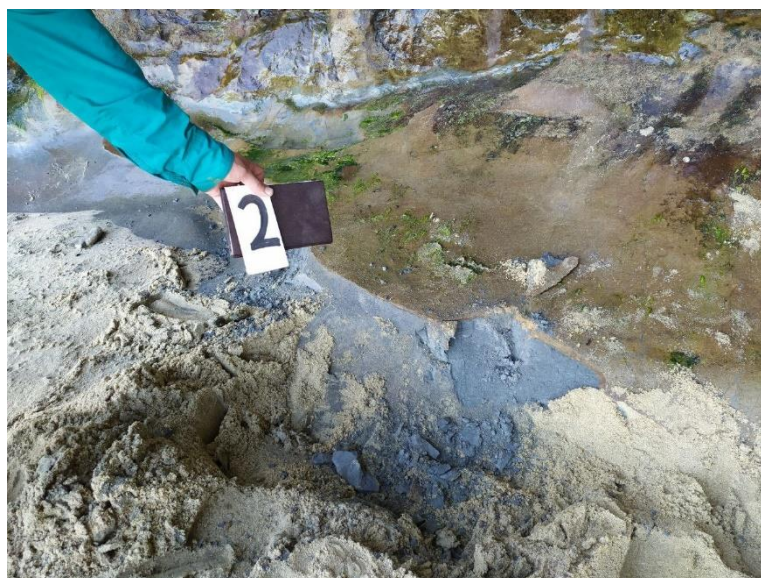


Foto 2. Zona de muestreo NWLS-SEB-002

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SUB-003	10-80	Color: Gris pardusco Textura: Arcillo limosa	Material no consolidado. La toma de muestra se realizó cerca de una construcción. Dicho punto se encuentra ubicado en un lugar muy amplio (posible llanura de inundación)



Foto 3. Zona de muestreo NWLS-SUB-003

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SUB-004	15- 60	Color: Gris claro Textura: arcilloso	Mucha presencia de material Micáceo y grafitoso



Foto 4. Zona de muestreo NWLS-SUB-004

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SUB-005	100-120	Color: Marrón pardusco Textura: Limo-arcillosa	El punto de muestreo es una cantera donde es posible observar una alternancia arcillo limosa



Foto 5. Zona de muestreo NWLS-SUB-005

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SEB-006	25-30	Color: Gris claro Textura: Arcillosa	Casi llegando a las capas identificadas como Formación La Sabana encontramos cuerpos sedimentarias en donde destacan una intercalación de arenisca con lutita



Foto 6. Zona de muestreo NWLS-SEB-006

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SUB-007	20- 40	Color: Gris claro con pequeños tonalidades de marrón Textura: Fango arcilloso	Muestra recolectada en una hacienda donde es posible observar un alto nivel freático



Foto 7. Zona de muestreo NWLS-SUB-007

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SUB-008	25- 100	Color: Marrón grisáceo Textura: Arcilloso	El sitio de muestreo no presenta variaciones en los horizontes excavados (aproximadamente 90cm)



Foto 8. Zona de muestreo NWLS-SUB-008



ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SUB-009	25- 70	Color: Gris pardusco Textura: Arcilloso	Presenta niveles de oxidación y bastante materia orgánica



Foto 9. Zona de muestreo NWLS-SUB-009

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NWLS-SEC-010	25-30	Color: Gris claro Textura: Arcillo arenosa	Se observa la presencia de grandes clastos



Foto 10. Zona de muestreo NWLS-SEC-010

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NECH-SEC-011	150-200	Color: Gris con tonalidades pardas Textura: Arcillo arenosa	Zona urbanizada. Se observa un deslizamiento prominente.



Foto 11. Zona de muestreo NECH-SEC-011

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NECH-SEC-012	60-100	Color: Gris claro Textura: Arcillo arenosa	Zona urbanizada. La muestra presentaba una coloración grisácea con intercalaciones de color pardo



Foto 12. Zona de muestreo NECH-SEC-012

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NECH-SUC-013	200-300	Color: Marrón claro Textura: Arcilla limo-arenosa	Subiendo el pueblo de Chuspa se observa un espesor de suelo cercano a 3 metros, es importante destacar que el material es muy poco competente



Foto 13. Zona de muestreo NECH-SUC-013

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NECH-SUC-014	15-100	Color: Gris Textura: Arcilla arenosa	El material recolectado fue extraído de una vía rural donde la misma no se encontraba pavimentada



Foto 14. Zona de muestreo NECH-SUC-014

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NECH-SEB-015	15-25	Color: Marrón con pequeñas tonalidades grises Textura: Arcillo arenosa	Presenta costras de oxidación muy notorias



Foto 15. Zona de muestreo NECH-SEB-015

ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NECH-SUB-016	10-30	Color: Gris oscuro Textura: Arcillo arenosa	Se observa la presencia de pequeños clastos
			
Foto 16. Zona de muestreo NECH-SUB-016			



ETIQUETA	Profundidad de intervalo de muestreo (cm)	Descripción de campo	Observaciones
NECH-SUB-017	30-40	Color: Gris oscuro Textura: Arcillo arenosa	Destaca una importante capa vegetal que tuvo que ser retirada para poder recolectar la muestra



Foto 17. Zona de muestreo NECH-SUB-017

## **ANEXO C**

Planilla de descripciones usadas en las salidas de campo (23)

## ANEXO D

Difractogramas

## **ANEXO E**

Mapas del Atlas Geológico de Arcillas a escala 1:25.000 (13 Hojas).