



## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



# **ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE ARCILLAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS**

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

**Caracas, 2021**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



**ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE ARCILLAS  
EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS**

**TUTORES ACADÉMICOS: Prof. Ricardo Alezones**

**Prof. Lenin González**

**Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela**

**Por el Br. Salas R., Jesús A.,**

**Para optar al Título  
de Ingeniero Geólogo.**

**Caracas, 2021**

Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica  
Departamento de Geología  
Caracas

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO DEL BACHILLER JESÚS ALBERTO  
SALAS RANGEL DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Los abajo firmantes, integrantes de la totalidad del jurado examinador designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado, titulado: **Estudio para la caracterización geológica de arcillas en el Área Metropolitana de Caracas**, presentado por el Bachiller **Jesús Salas**, portador de la cédula de identidad **V-25.865.956**, para optar por el título de Ingeniero Geólogo, en el acto de Defensa Pública correspondiente, considerando:

1. La excelencia del trabajo realizado, tanto en su contenido como en su presentación formal, incluyendo una buena integración de metodologías geológicas, de laboratorio y cartográficas.
2. La generación de cartas geológicas, geomorfológicas e históricas, las cuales muestran la presencia de cuerpos de arcilla en el Área Metropolitana de Caracas.
3. La elaboración de una metodología para el trabajo sistemático, a la hora de generar el levantamiento en el campo de cuerpos de naturaleza arcillosa.
4. El carácter estratégico del estudio en cuanto al potencial en el uso ingenieril del conocimiento científico, con fines de geología económica (prospección minera) y de geología aplicada a obras civiles (geotecnia) en lo relativo a las restricciones de percolación e infiltración y consecuentes riesgos de inundación y desbordamiento.

En fe de lo antes indicado, acordamos, por unanimidad, otorgar **Mención Honorífica** al Bachiller JESÚS SALAS.

En Caracas, a los trece días del mes de septiembre de dos mil veintiuno.



---

**Prof. Jesús Monsalve**  
**Facultad de Ciencias -UCV**  
Miembro del Jurado



---

**Profa. Alba Castillo**  
**Departamento de Minas**  
Miembro del Jurado



---

**Prof. Ricardo Alezones**  
**Departamento de Geología**  
Coordinador del Jurado

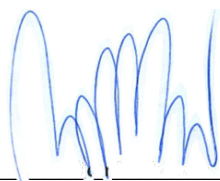
Caracas, Septiembre de 2021

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Salas Rangel Jesús Alberto, titulado:

### ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE ARCILLAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS

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



Prof. Ricardo Alezones

Jurado



Prof. Jesús Monsalve

Jurado



Prof. Alba Castillo

Jurado



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios y a la Virgen, que siempre han estado guiando mi camino.

A mis padres Yiratza y José Gregorio, por su amor incondicional, sus valores, mi fuente de motivación y sostén. A mi hermano Gregorit, a mis abuelos Juancho y Amada, mis tíos: Dilia, Rogelio, Luksmila, Raiza y Eliana, a todos mis primos. Una gran familia, que, de alguna u otra manera, con poco o mucho, me han brindado su apoyo y cariño en todo momento.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela por su excelente educación, al Prof. Ricardo, de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por su gran tutoría y buena disposición, a los Profesores Lenín, Sebastian, Enrique, Singer, Carolina, María, Mauricio, Orlando y Alba, por estar siempre dispuestos a transmitir sus conocimientos y experiencias.

Gracias a todos mis grandes amigos de los departamentos de Geología y Geofísica, Katherine R, Saira U., Roddys G., Diego C., José N., Geilin Q., Carlos M., Eduardo G., Maurizio C., Yelaine G., y otros muchos más, por su cariño, apoyo y vivencias.

A todas aquellas personas que de una u otra forma aportaron para la realización de este Trabajo Especial de Grado, y a aquellos que me acompañaron durante cada etapa de esta carrera, GRACIAS.

Salas R., Jesús A.

## **ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE ARCILLAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS**

**TUTORES:** Prof. Ricardo Alezones, y Prof. Lenin González. Tesis, Caracas. UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2021, p. 154.

**Palabras Claves:** Arcillas, Suelos, Toma de Muestras, Cartografía Geológica, Ensayos de Laboratorio, Difracción de rayos X, Valle de Caracas, Área Metropolitana de Caracas, Unidades cuaternarias, Terrenos geológicos, Cordillera de la Costa.

**Resumen:** Este trabajo tiene como objetivo caracterizar geológicamente las arcillas ubicadas en el Área Metropolitana de Caracas, y al mismo tiempo realizar una recopilación y síntesis de toda la información bibliográfica que pudiera existir referente al estudio de arcillas. Para lograrlo, se desarrollaron 4 etapas, la primera consistió en una recopilación y análisis bibliográfico, donde se analizaron alrededor de 8 mil datos de ensayos de perforaciones geotécnicas y de pozos, así como la revisión de más de 50 fichas de muestras con análisis de DRX, de laboratorios *Investi*; de los que se lograron extraer 30 muestras, se hizo una revisión de las unidades cuaternarias del Valle de Caracas y de las de la Cordillera de La Costa; además, se utilizaron algunos criterios entre la variabilidad espacial de la pendiente y la textura del suelo. Todo esto permitió ubicar las zonas donde existe alto potencial de encontrar cuerpos arcillosos.

Se procedió a la segunda etapa de recolección de muestras, basado en el las normas y metodologías del *IGCP*. Se visitaron 47 zonas y se lograron recuperar 32 muestras representativas y distribuidas a lo largo del área de estudio. Una tercera etapa consistió realizar ensayos de laboratorio, en la que se hizo una caracterización a través de química de DRX para determinar la composición mineralógica de las arcillas

recolectadas. Se encontraron minerales de arcilla en 30 de las 32 muestras, que en conjunto con las obtenidas en la etapa de recopilación bibliográfica sumaron un total de 60 muestras, en las que se identificaron arcillas como la illita, halloysita, dickita, vermiculita, caolinita, illita-montmorillonita y clorita. Se determinó de manera general que el posible aporte mayoritario para la formación de minerales de arcilla en la zona de estudio, está dominado básicamente por el Terreno Esquisto de Las Mercedes y Terreno Esquisto Las Brisas; unidades menos mayoritarias correspondieron al Terreno Ávila, como las subunidades del Complejo San Julián. La arcilla predominante en toda el área de estudio fue la illita; también fue abundante el mineral de caolinita que se identificó particularmente hacia el sur. Adicionalmente, con datos conocidos de los índices de plasticidad se calculó el potencial de expansibilidad de las arcillas, determinándose que era de bajo a medio, lo que ayudó a interpretar que la presencia de esmectitas (montmorillonita) interestratificadas con otras arcillas como la illita, es poco representativa para la zona de estudio.

Toda la información recopilada y generada para este estudio permitió generar una base cartográfica-geológica que se tradujo en 14 mapas geológicos de arcillas a escala 1:25.000, 1 mapa de pendientes a escala 1:250.000, 1 mapa de registro histórico con antiguas fuentes de material arcilloso en la ciudad de Caracas, así como el proyecto GIS que incluye toda la información vectorial y tablas de atributos. Por último, se generó una serie de tablas en el programa *Excel*, que sirven como base de datos, en las que se incluyó toda la información obtenida a lo largo de la investigación, más las fichas con los picos de difracción de las muestras recuperadas de *Investi*, los anexos con las planillas utilizadas en la etapa de campo, y los diafractogramas de DRX obtenidos en el laboratorio.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>I.1 UBICACIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>3</b>
<b>I.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>3</b>
<b>I.5 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>I.6 ALCANCES</b> .....	<b>5</b>
<b>I.7 ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
I.7.1 TERRITORIO NACIONAL.....	6
I.7.2 ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS .....	10
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>14</b>
<b>II.1 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
II.1.1 SUELOS .....	14
II.1.2 SUELOS ARCILLOSOS .....	15
II.1.3 SUELOS EXPANSIVOS.....	16
II.1.4 EFECTOS PRODUCIDOS POR LAS ARCILLAS EXPANSIVAS EN OBRAS CÍVILES. ....	16
II.1.5 ARCILLAS .....	17
II.1.6 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS ARCILLAS .....	18
II.1.7 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS .....	19
II.1.8 FUNDAMENTOS DE RAYOS X .....	23
II.1.9 DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....	23
<b>II.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	<b>25</b>
II.2.1 UNIDADES GEOLÓGICAS DE MAYOR EXTENSIÓN .....	25
II.2.2 UNIDADES GEOLÓGICAS DE MENOR EXTENSIÓN.....	26
II.2.3 UNIDADES CUATERNARIAS .....	29
II.2.3.1 <i>Unidades Cuaternarias del Valle de Caracas</i> .....	29
II.2.3.2 <i>Unidades cuaternarias sin diferenciar</i> .....	32
II.2.4 SEDIMENTOS DE FLUJOS TORRENCIALES EN EL VALLE DE CARACAS .....	34
II.2.5 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	35
II.2.6 MARCO TECTÓNICO .....	39
II.2.7 MAPA GEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE CARACAS, 1986. ....	41
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>42</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>42</b>
<b>III.1 ETAPA DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO</b> .....	<b>43</b>
III.1.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	43
III.1.2 PARÁMETROS DE PROYECCIÓN.....	45
III.1.3 MAPA DE PENDIENTES GENERADO A TRAVÉS DE ARCGIS .....	45

III.1.4 MÉTODO DE CLASIFICACIÓN DE LOS RANGOS DE PENDIENTE .....	46
III.1.5 REVISIÓN Y CARTOGRAFIADO DE UN REGISTRO HISTÓRICO CON EVIDENCIA DE ARCILLAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CARACAS .....	46
III.1.6 REVISIÓN Y CARTOGRAFIADO DE INFORMACIÓN MINERALÓGICA POR DRX OBTENIDA DE INVESTI .....	46
III.1.7 REVISIÓN Y SELECCIÓN DE PUNTOS DE INTERÉS DE LAS BASES DE DATOS DE TRABAJOS ACADÉMICOS, PERFORACIONES GEOTÉCNICAS Y DE POZOS .....	47
III.1.8 INTEGRACIÓN DE LOS DATOS Y SELECCIÓN DE LAS ZONAS PARA LA TOMA DE MUESTRAS .....	49
<i>III.1.8.1 Respecto a las unidades geológicas</i> .....	49
<i>III.1.8.2 Respecto al mapa de pendientes</i> .....	50
<i>III.1.8.3 Respecto al mapa de registro histórico de arcillas</i> .....	50
<i>III.1.8.4 Distribución de los puntos para muestreo</i> .....	50
III.1.8.4.1 Zona Oeste .....	51
III.1.8.4.2 Zona Sur .....	54
III.1.8.4.3 Zona Este .....	56
III.1.8.4.4 Zona Sureste .....	58
<i>III.1.8.5 Coordenadas de los puntos para muestreo</i> .....	60
<b>III.2 ETAPA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS .....</b>	<b>62</b>
III.2.1 INTRODUCCIÓN .....	62
III.2.2 MATERIALES Y EQUIPOS .....	63
III.2.3 ETIQUETADO DE LAS MUESTRAS .....	64
III.2.4 PROCEDIMIENTO .....	64
<i>III.2.4.1 Selección del sitio de muestreo</i> .....	64
<i>III.2.4.2 Etiquetado de las muestras y notaciones previas</i> .....	65
<i>III.2.4.3 Muestreo</i> .....	65
<i>III.2.4.4 Fotografías</i> .....	66
III.2.5 PRECAUCIONES GENERALES .....	66
III.2.6 PARÁMETROS GEOLÓGICOS A DESCRIBIR EN CAMPO .....	67
III.2.7 TÉCNICA Y PROCEDIMIENTO PARA RECONOCER ARCILLAS O MATERIAL ARCILLOSO EN CAMPO .....	69
<b>III.3 ETAPA DE LABORATORIO .....</b>	<b>71</b>
III.3.1 SECADO AL AIRE LIBRE .....	71
III.3.2 TAMIZADO .....	72
III.3.3 PULVERIZADO .....	73
III.3.4 DIFRACCIÓN DE RAYOS X .....	75
<b>III.4 ETAPA DE OFICINA .....</b>	<b>77</b>
III.4.1 GENERACIÓN DE BASE DE DATOS, TABLAS Y MAPAS TEMÁTICOS .....	77
III.4.2 REPORTE DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN CAMPO .....	78
III.4.3 ANÁLISIS DE DIFRACTOGRAMAS .....	78
III.4.4 GENERACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICOS A ESCALA 1:25.000 CON LOS REGISTROS DE MINERALES DE ARCILLAS OBTENIDOS EN LA INVESTIGACIÓN .....	78
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>80</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>80</b>
<b>IV.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA FASE INICIAL DE RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO .....</b>	<b>80</b>

<b>IV.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ETAPA DE MUESTREO DE CAMPO .....</b>	<b>88</b>
<b>IV.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA DE LABORATORIO.....</b>	<b>100</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>102</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SÍNTESIS .....</b>	<b>102</b>
<b>V.1 RELACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA PENDIENTE Y LA TEXTURA DEL SUELO.....</b>	<b>102</b>
<b>V.2 INTERPRETACIÓN DEL MAPA DE PENDIENTES.....</b>	<b>102</b>
<b>V.3 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES OBSERVADAS EN CAMPO DURANTE LA TOMA DE MUESTRAS .....</b>	<b>104</b>
V.3.1 DESCRIPCIONES DE LOS SITIOS DE MUESTREO .....	104
V.3.2 DESCRIPCIONES DE LOS PERFILES.....	104
<b>V.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIONES DE LOS RESULTADOS MINERALÓGICOS A TRAVÉS DE DRX Y LAS UNIDADES LITOLÓGICAS DESCRITAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>106</b>
V.4.1 ZONA OESTE .....	106
V.4.2 ZONA SUR .....	114
V.4.3 ZONA ESTE .....	123
V.4.4 ZONA SURESTE.....	132
<b>V.5 SÍNTESIS GENERAL DE LOS MINERALES DE ARCILLA IDENTIFICADOS POR DRX.....</b>	<b>139</b>
<b>V.6 POTENCIAL DE EXPANSIÓN DE LAS ARCILLAS .....</b>	<b>140</b>
<b>V.7 ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN DE LAS ARCILLAS ESTUDIADAS .....</b>	<b>141</b>
<b>V.8 DISCUSIÓN E INTERPRETACIONES GEOLÓGICAS DE LA MINERALOGÍA DESCRITA EN ENSAYOS DE DRX RECUPERADOS DE INVESTI .....</b>	<b>143</b>
V.8.1 TRAMO CARACAS - LOS TEQUES .....	143
V.8.2 TRAMO CORTADA DEL GUAYABO- SAN DIEGO- CARRIZAL- LOS TEQUES.....	144
V.8.3 TRAMO CARACAS - SANTA LUCÍA.....	144
V.8.4 OTROS SECTORES .....	144
<b>V.9 POSIBILIDAD DE ENCONTRAR MÁS MINERALES DE ARCILLAS DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO Y CUALES.....</b>	<b>145</b>
<b>V.10 SUSCEPTIBILIDAD GEOTÉCNICA POR ARCILLAS EXPANSIVAS Y SU BAJA PERMEABILIDAD NATURAL .....</b>	<b>148</b>
<b>V.11 USO DE LAS ARCILLAS .....</b>	<b>149</b>
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>150</b>
<b>SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>150</b>
<b>VI.1 SUMARIO.....</b>	<b>150</b>
<b>VI.2 CONCLUSIONES.....</b>	<b>152</b>

**VI.2 RECOMENDACIONES..... 153**

**BIBLIOGRAFÍA ..... 155**

**ANEXO A ..... 162**

**ANEXO B ..... 163**

**ANEXO C ..... 195**

**ANEXO D ..... 196**

**ANEXO E ..... 197**

**ANEXO F..... 198**

**ANEXO G ..... 199**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Modificado de Agencia de Cooperación Internacional de Japón (jica) & Alcaldía del Distrito Metropolitano de Caracas (2004). .....	2
Fig 2. Perfil de meteorización del suelo. Tomado de: (GUEVARA & LÓPEZ, 2012). .....	15
Fig 3. Mapa geológico de la zona de estudio. Tomado y modificado del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, (URBANI & RODRÍGUEZ, 2004) y sus últimas actualizaciones (SÁNCHEZ, 2019) y (MÁRQUEZ, 2021). .....	28
Fig 4 y 5. Mapa y Leyenda de unidades depositacionales cuaternarias del Valle de Caracas. Modificado de (SINGER, ZAMBRANO, OROPEZA & TAGLIAFERRO, 2007). .....	32
Fig 6. Unidades cuaternarias sin diferenciar. ....	33
Fig 7. Fragmento del mapa geológico del valle de Caracas, (SINGER, 1977), con la distribución de los sedimentos de facies proximal (grandes bloques) depositados por aludes torrenciales del Holoceno. Note la ubicación de El Pedregal, Altamira y Los Palos Grandes. ....	35
Fig 8. Fallas activas del Valle de Caracas (URBANI & RODRIGUEZ, 2004). .....	37
Fig 9. Mapa geológico del sur de Caracas (DENGO, 1951), modificado por (WEHRMANN & SINGER, 1977). .....	38
Fig 10. Mapa geológico de la ciudad de Caracas. Ministerio de Energía y Minas. Cartografía geológica por: (AGUERREVERE, ZULOAGA, DENGO, WEISBORD, SEIDERS, PICARD, PIMENTEL, FANTI, FRONTADO & VECCHIO, 1986). ....	41
Fig 11. Diagrama metodológico. ....	42
Fig 12. Mapa con el nombre de las Hojas utilizadas del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa. ....	44
Fig 13. Selección y eliminación de puntos agrupados. ....	49
Fig 14. Mapa de ubicación de puntos para muestreo. ....	51
Fig 15. Puntos para muestreo en color amarillo. Zona Oeste. ....	53
Fig 16. Puntos para muestreo en color azul. Zona Sur. ....	56
Fig 17. Puntos para muestreo en color rojo. Zona Este. ....	58
Fig 18. Puntos para muestreo en color verde. Zona Sureste. ....	60
Fig 19. A) Formulario de captura de datos de campo. Información General (INGEOMINAS, 2011). ....	67
Fig 20. B) Formulario de captura de datos de campo. Localización del punto de muestreo (INGEOMINAS, 2011). ....	67
Fig 21. C) Formulario de captura de datos de campo. Descripción del sitio de muestreo (INGEOMINAS, 2011). ....	68
Fig 22. D) Formulario de captura de datos de campo. Datos de campo para Suelos (INGEOMINAS, 2011). ....	69
Fig 23. E) Formulario de captura de datos de campo. Datos de campo para Sedimentos de llanura de inundación (INGEOMINAS, 2011). ....	69
Fig 24. Ensayo de reconocimiento de arcillas, (HERNÁNDEZ & HERNÁNDEZ, 2015). ....	70
Fig 25. Mapa con el total de puntos de perforaciones revisados, alrededor de 8 mil datos. .	81
Fig 26. En color verde puntos donde se observa material fino (variaciones entre arcillas, limos y arenas finas). ....	81
Fig 27. En color azul los puntos con porcentajes importantes de material arcilloso. ....	82
Fig 28. Se observan en color naranja los puntos con posibilidad de muestreo. ....	82
Fig 29. Mapa de pendientes del área de estudio. ....	83
Fig 30. Mapa del registro histórico de antiguas fuentes de material arcilloso. ....	86
Fig 31. DRX muestra OPB-SUB-004. ....	106



Fig 32. Mapa geológico con la ubicación de OPB-SUB-004. ....	107
Fig 33. DRX muestra ORP-SUB-006. ....	108
Fig 34. Mapa geológico con la ubicación de ORP-SUB-006. ....	109
Fig 35. DRX muestra OPA-SUB-007. ....	110
Fig 36. Mapa geológico con la ubicación de OPA-SUB-007 / OPA-SUB-007-D. ....	111
Fig 37. DRX muestra OCA-SUB-013. ....	112
Fig 38. Mapa geológico con la ubicación de OCA-SUB-012 / OCA-SUB-013. ....	113
Fig 39. DRX muestra SBP-SUB-001. ....	114
Fig 40. DRX muestra SUB-SUB-002. ....	115
Fig 41. DRX muestra SUC-SUB-003. ....	116
Fig 42. DRX muestra SUC-SUB-006. ....	116
Fig 43. DRX muestra SCU-SUB-007. ....	117
Fig 44. DRX muestra SPL-SUB-009. ....	118
Fig 45. DRX muestra SLB-SUB-010. ....	118
Fig 46. Mapa geológico con la ubicación de SBP-SUB-001 / SUB-SUB-002 / SUC-SUB-005 / SUC-SUB-003 / SUC-SUB-004 / SUC-SUB-006 / SPL-SUB-009 / SLB-SUB-010 / SPM-SUC-011. ....	120
Fig 47. DRX muestra SJA-SUB-013. ....	121
Fig 48. DRX muestra SGB-SUC-016. ....	121
Fig 49. Mapa geológico con la ubicación de SJA-SUB-013 / SJM-SUB-015 / SGB-SUC-016. ....	122
Fig 50. DRX muestra ECH-SUB-002. ....	123
Fig 51. DRX muestra ELM-SUB-005. ....	124
Fig 52. Mapa geológico con la ubicación de ECH-SUB-002 / ELM-SUB-005. ....	125
Fig 53. DRX muestra ECA-SUC-007. ....	126
Fig 54. DRX muestra EPS-SUB-008. ....	126
Fig 55. DRX muestra EPG-SUC-009. ....	127
Fig 56. Mapa geológico con la ubicación de ECA-SUC-007 / EPS-SUB-008 / EPG-SUC-009. ....	129
Fig 57. DRX muestra ELA-SUB-011. ....	130
Fig 58. Mapa geológico con la ubicación de ELA-SUB-011. ....	131
Fig 59. DRX muestra SEC-SUB-004. ....	132
Fig 60. DRX muestra SEU-SUC-006. ....	132
Fig 61. Mapa geológico con la ubicación de SEP-SUC-002 / SEC-SUB-004 / SEU-SUC-006. ....	134
Fig 62. DRX muestra SEC-SUC-007. ....	135
Fig 63. DRX muestra SET-SUB-008-R. ....	136
Fig 64. Mapa geológico con la ubicación de SEC-SUC-007 / SET-SUB-008-R. ....	137
Fig 65. DRX muestra SEU-SUB-011. ....	138
Fig 66. Mapa geológico con la ubicación de SEU-SUB-011. ....	139
Fig 67. Mapa geológico y total de muestras de arcillas. ....	147

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Secado al aire libre. ....	71
Foto 2. Tambor vibratorio y juego de tamices. ....	72
Foto 3. Peso, bandeja, sedimentos y tabla de notaciones. ....	73
Foto 4. Equipo de molienda marca <i>Shatterbox</i> . ....	73

Foto 5. Insumos de limpieza y cilindro de carburo de tungsteno.....	75
Foto 6. Porta muestra de aluminio, vidrio e insumos de limpieza. ....	76
Foto 7. Muestras preparadas para DRX. ....	76
Foto 8. Equipo de difracción de rayos X marca <i>Phillips</i> . ....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las arcillas (GRANDE, 2000). ....	19
Tabla 2. Descripción de los puntos en la Zona Oeste. ....	51
Tabla 3. Descripción de los puntos en la Zona Sur. ....	54
Tabla 4. Descripción de los puntos en la Zona Este.....	56
Tabla 5. Descripción de los puntos en la Zona Sureste.....	58
Tabla 6. Coordenadas de los puntos en cada una de las zonas para muestreo .....	60
Tabla 7. Registro histórico de la bibliografía obtenida. ....	84
Tabla 8. Mineralogía por DRX y ubicaciones relativas. Recuperado de Investi.....	86
Tabla 9. Reporte de puntos visitados.....	88
Tabla 10. Coordenadas y ubicación de los sitios muestreados en campo. ....	92
Tabla 11. Observaciones y reportes de los sitios donde se recuperó muestra.....	94
Tabla 12. Composición mineralógica obtenida por DRX. ....	100
Tabla 13. Potencial de expansibilidad (GUEVARA & LÓPEZ, 2012). ....	141
Tabla 14. Potencial de expansibilidad en las muestras de estudio. ....	141

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **I.1 Ubicación**

La zona de estudio corresponde al Área Metropolitana de Caracas, la cual está conformada por el municipio: Libertador perteneciente al Distrito Capital, y los municipios: Chacao, Baruta, Hatillo y Sucre, pertenecientes al estado Miranda.

Ésta región está definida por un valle que es atravesado de oeste a este por el río Guaire. Desde Antímano, desde su extremo oeste hasta Petare en su extremo este, tiene una extensión de aproximadamente 25 kilómetros de longitud y la altura promedio del fondo del valle es de unos 900 metros sobre el nivel del mar.

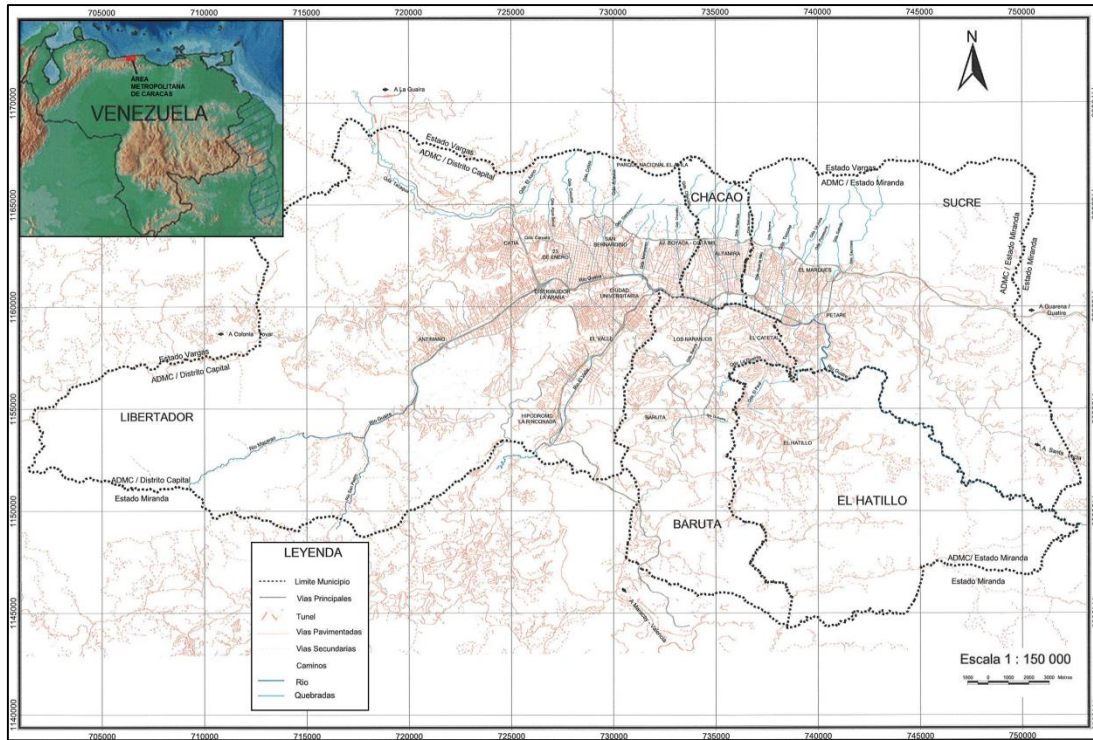


Fig 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Modificado de Agencia de Cooperación Internacional de Japón (jica) & Alcaldía del Distrito Metropolitano de Caracas (2004).

## **I.2 Planteamiento del problema**

El Área Metropolitana de Caracas se encuentra emplazado en un valle tectónico producto de los movimientos de elevación experimentados por la serranía del Litoral, en el Paleozoico, y de movimientos más recientes resultantes de la elevación de la serranía del Interior. El valle se encuentra dividido por cauces de agua cuyos aportes aluviales generaron suelos, muchos de ellos compuestos de material arcilloso, mientras que en las zonas más elevadas hay conocimiento de la existencia de secuencias metamórficas y meta-sedimentarias, como esquistos, gneises, anfibolitas y calizas que pueden servir como fuente de sedimentos finos debido a los procesos naturales de erosión y meteorización.

Se conocen estudios académicos y estudios técnicos de particulares donde se han caracterizado zonas donde hay concentraciones de arcillas, sin embargo, los estudios que se han realizado son muy locales y comprenden fines específicos, lo que conlleva a que la información se encuentre dispersa y en varias fuentes. Actualmente, no se conoce la existencia de un trabajo académico que agrupe toda esa información y que esté específicamente enfocado en la caracterización mineralógica de arcillas.

## **I.3 Objetivo general**

Caracterizar geológicamente las arcillas ubicadas en el Área Metropolitana de Caracas.

## **I.4 Objetivos específicos**

- Realizar una revisión y recopilación bibliográfica de trabajos de grado, escritos académicos o estudios técnicos independientes sobre

análisis mineralógicos y ubicación de cuerpos de arcillas, así como de la geología regional correspondiente a la zona de estudio.

- Determinar a través de un análisis crítico la calidad de los análisis realizados en las muestras encontradas en la recopilación bibliográfica, determinando así, las áreas que requerirán nuevos muestreos para el análisis en laboratorio.
- Caracterizar por medio de química de difracción de rayos X las muestras recolectadas en las áreas que carecían de información sobre la composición mineralógica de las arcillas.
- Elaborar mapas geológicos a escala 1:25.000 con la ubicación y composición mineralógica de todos los cuerpos de arcillas encontrados en el Área Metropolitana de Caracas.
- Plasmar la información obtenida en tablas a manera de bases de datos donde se refleje toda la información de las arcillas estudiadas y sus posibles usos.

### **I.5 Justificación**

Caracas es la ciudad más poblada del país, por lo que progresivamente existirá una mayor demanda de materiales y recursos que cumplan con las necesidades de la población, es por esto que encontrar fuentes de minerales o material para la extracción y aprovechamiento en lugares cercanos a los centros poblados podría ser beneficioso por temas de distribución y practicidad. La baja producción de la industria minera no metálica ha generado un aumento en la demanda de diversos materiales que sirven de materia prima para otras industrias. En algunos casos, éstas industrias del sector secundario optan por importar los materiales que necesitan para cubrir sus demandas, lo que da gran desventaja al mercado

nacional, teniendo en cuenta que se tiene conocimiento y en otros casos indicios de zonas con gran valor para actividades minero extractivas.

El gran crecimiento demográfico de la ciudad también conlleva a una expansión de las áreas urbanas; se sabe que algunos tipos de minerales de arcillas pueden ser desfavorables para la construcción de infraestructuras debido a su alto potencial de expansibilidad y natural baja permeabilidad.

Contar con un registro de información de arcillas caracterizadas mineralógicamente de una gran extensión geográfica puede ser de gran utilidad no sólo desde un punto de vista económico, sino también académico, pues al mismo tiempo que se contribuiría al ordenamiento territorial para el aprovechamiento de los recursos naturales, se estaría contribuyendo en cierta medida a la planificación para la toma de medidas preventivas por riesgo geológico.

## **I.6 Alcances**

El principal enfoque del proyecto será generar varios mapas geológicos de arcillas caracterizadas mineralógicamente del Área Metropolitana de Caracas.

El proyecto a su vez puede ser utilizado económicamente, debido a los variados usos que pueden tener las arcillas de acuerdo a su composición y propiedades químicas, por lo que el mapa geológico generado puede ser de utilidad para planificar futuras actividades de aprovechamiento del material.

En este mismo sentido también puede ser utilizado como un primer indicio de zonas susceptibles geotécnicamente debido a las propiedades negativas que tienen algunas arcillas para el desarrollo urbanístico.

Por otra parte el trabajo también cuenta con el enfoque académico y pretende ser una guía para futuros trabajos similares que se lleven a cabo en otras regiones del territorio nacional.

## **I.7 Antecedentes**

### **I.7.1 Territorio Nacional**

#### *Estado Miranda*

CASTRO & RIVERO (2010), en este trabajo el objetivo es la caracterización geológica de las rocas sedimentarias que constituyen el subsuelo de un sector de la hacienda El Marqués, Guatire, estado Miranda y a su vez evaluar el potencial de estas rocas como materia prima en la industria alfarera. Es un trabajo de caracterización del subsuelo a través de 9 sondeos geotécnicos, donde se realizan ensayos de Difracción de Rayos X (DRX), análisis químicos, análisis granulométricos, peso unitario, contenido de humedad natural y plasticidad. Mediante la Difracción de Rayos X se determinó una composición mineralógica bastante homogénea constituida esencialmente por cuarzo y minerales de arcilla como la illita, caolinita y montmorillonita, con presencia de calcita en la mayoría de las muestras.

MOLA & SANCHEZ (2012), presentan un trabajo de exploración geológica, geotécnica y geofísica en la estación Carrizal en la línea dos del metro Los Teques. El tramo de estudio se desarrolla entre las progresivas 5+600 a 5+970.276, con una longitud total de 160 m, el cual para la elaboración del perfil de sectorización geomecánica se realizó la caracterización de los materiales que conforman el subsuelo en base a la selección y recopilación de la información geológico geotécnica sobre el área de estudio a través de exploración geológica de superficie y de los datos obtenidos de sondeos exploratorios, los cuales constituyen 12 perforaciones, donde se determinó que el área está conformada por depósitos cuaternarios



compuestos por los sedimentos transportados alcanzando aproximadamente los 4 metros de espesor. Estos materiales se caracterizan por ser de tipo no homogéneo y de comportamiento errático, ya que estos depósitos incluyen materiales con una energía de transporte variable representados por sedimentos finos como arcillas y limos con partículas tamaño peñones.

#### *Estados Anzoátegui, Falcón y Miranda*

GUEVARA & LÓPEZ (2012), en su Trabajo Especial de Grado tienen el objetivo de determinar y evaluar las arcillas expansivas y dispersivas como un aporte al manejo de sus patologías en algunas carreteras al norte de Venezuela, específicamente en el estado Anzoátegui de litología principalmente sedimentaria, Falcón con litología similar y Miranda donde se puede encontrar litologías de origen sedimentario y metamórfico. El trabajo se dividió en tres etapas, la primera consistió en la recolección bibliográfica; la segunda fue la delimitación de las áreas de interés en las zonas de estudio para posteriormente realizar las salidas de campo, donde se recolectaron 81 muestras de suelos y se observaron algunas patologías típicas de los suelos expansivos y dispersivos; y una tercera etapa en la que se realizaron ensayos de laboratorio a esas 81 muestras para caracterizarlas. Con el fin de dividir el universo total de muestras, se tomaron 37 con variaciones en el potencial expansivo propuesto por (CHEN, 1988) y se separaron geográficamente, para de esta manera lograr una distribución equitativa en las áreas de estudio, a estas muestras se le realizaron ensayos especiales para determinar características expansivas y dispersivas. A 13 de ellas se le efectuó Difracción de Rayos X (DRX), mientras que a nueve se les analizó por microscopía electrónica de barrido (SEM).

#### *Estado Bolívar*

MARTÍNEZ (2012), presenta un proyecto de investigación que tuvo como objetivo caracterizar la arcilla caolinítica presente en el yacimiento de

caolín del Km 88 (estado Bolívar), con el fin de evaluar este material como posible puzolana artificial para ser aplicada en sistemas cementantes empleados en pozos petroleros. Para llevar a cabo este proyecto se realizaron diversos ensayos al caolín, tales como: porcentaje de humedad, pérdida por ignición, gravedad específica, área superficial, distribución granulométrica empleando la técnica de difracción láser, análisis químicos empleando las técnicas de fluorescencia de rayos X (FRX) para la determinación de Si y Al, y espectroscopia de emisión atómica acoplada a plasma (ICP) para la determinación de Na, K, Ca, Mg, Fe y Ti y espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) para identificar las bandas características presentes en la caolinita; análisis mineralógicos utilizando la técnica de difracción de rayos X (DRX), una lupa binocular y análisis morfológicos empleando un microscopio electrónico de barrido (MEB). Además, también se realizaron ensayos de termogravimetría, conductimetría y FTIR para conocer la temperatura óptima de calcinación del caolín y por último, se realizó la evaluación del caolín activado térmicamente en sistemas cementantes para pozos petroleros a través de pruebas reológicas y mecánicas.

El trabajo de investigación de FUENTES (2012) tuvo como finalidad caracterizar la arcilla caolinítica presente en el depósito del sector de Tierra Blanca, al suroeste del estado Bolívar, para evaluar un material puzolánico a base de arcillas nacionales y desarrollar sistemas cementantes estables que puedan ser utilizados en pozos petroleros a altas temperaturas. Para ello se realizaron los siguientes ensayos al caolín: porcentaje de humedad y pérdida por calcinación, gravedad específica y superficie específica, distribución del tamaño de partícula utilizando la técnica de difracción laser. Los análisis químicos fueron realizados mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX) y espectroscopia de emisión atómica acoplada a plasma (ICP) determinando la concentración de Al, Si, Ti, Fe, Mg, Ca, K y Na, y

espectroscopía infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR) para identificar las bandas características de la caolinita. El análisis mineralógico se realizó mediante difracción de rayos X (DRX) y lupa binocular y el análisis morfológico fue realizado mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). La temperatura óptima de activación del caolín se obtuvo mediante termogravimetría, conductimetría y FTIR, y la evaluación de la influencia del metacaolín en sistemas cementantes para pozos petroleros a través de pruebas reológicas y mecánicas.

HERNÁNDEZ (2018), en su tesis de maestría presenta una investigación que tiene como objetivo la caracterización geoquímica de caolines venezolanos del estado Bolívar para su posible empleo en el área de la salud (industria farmacéutica, terapéutica y/o cosmética). Fueron estudiadas 14 muestras de diferentes depósitos las cuales fueron secadas, tamizadas y posteriormente sujetas a diferentes análisis de laboratorio incluyendo Difracción de Rayos X (DRX), Fluorescencia de Rayos X (FRX), Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), Espectrometría de Infrarojo por Transformadas de Fourier (FTIR), tamaño de grano por Difracción Láser, Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Microscopía de Fuerza Atómica (MFA), colorimetría, reología, y análisis térmicos.

#### *Estado Mérida*

GONZÁLEZ (2017), presenta un estudio mineralógico, químico y ambiental de los sedimentos de la quebrada Los Micuyes, Estado Mérida. Se utilizó difracción de rayos X (DRX) para obtener la mineralogía, Fluorescencia de rayos X (FRX) para cuantificar los elementos. El estudio se realizó en muestras de rocas y sedimentos colectados en tres (3) puntos de muestreo dentro de la cuenca de la quebrada Los Micuyes, la cual discurre aledaña a la población de San Rafael de Mucuchíes.

### *Estado Sucre*

BARRETO & GODOY (2018), realizaron para su Trabajo Especial de Grado una caracterización geológica de los depósitos de arcillas ubicados en la Península de Araya, Municipio, Cruz Salmerón Acosta del estado Sucre y evaluar el potencial de estas rocas como materia prima en la industria alfarera, a partir del levantamiento geológico y de los análisis químicos como difracción de rayos x (DRX), fluorescencia de rayos x (FRX) y algunos ensayos básicos de geotecnia a las muestras tomadas durante el levantamiento geológico.

### *Estado Miranda*

SCREMIN (2019), en su trabajo de maestría busca evaluar y caracterizar el comportamiento de las arcillas expansivas ubicadas en Ocumare del Tuy, estado Miranda, con la finalidad de identificar la presencia de montmorillonitas en la zona y valorar la posibilidad de tratar dichas arcillas para que puedan ser utilizadas en el campo de la ingeniería para sostenimiento de tierras, en forma de lodo bentonítico. Se utilizó material extraído de calicatas para ser tratado, las muestras resultantes fueron evaluadas, física y químicamente, mediante ensayos de límites de consistencia, azul de metileno, ensayos de expansión, ensayos de rayos X (DRX y FRX), espectrometría de absorción atómica, termogravimetría diferencial y microscopía electrónica de barrido, para comparar su comportamiento luego del proceso ejecutado con las propiedades físicas de las bentonitas comerciales.

### **I.7.2 Área Metropolitana de Caracas**

GRATEROL & ARAQUE (1998), estudian las propiedades índices de las arcillas del valle de Caracas. Para el trabajo utilizaron datos de diferentes fuentes (Geotécnica de Venezuela C.A., Ingenieros de Suelos S.A., estudios realizados durante la construcción de las líneas del Metro de Caracas,

Cametro), de manera de unificar criterios en lo que se refiere a la zonificación origen y formación de los diferentes tipos de suelos arcillosos que afloran o se encuentran en el valle de Caracas.

ACERO & DOMINGUEZ (2005), realizaron un modelo geológico-geotécnico y una evaluación de las condiciones del terreno que constituyen el campus de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC), a partir de seis mapas temáticos y la caracterización geotécnica del subsuelo mediante la realización de cinco perfiles.

OROPEZA & ZAMBRANO (2007), crean una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica de la ciudad de Caracas.

SINGER, ZAMBRANO, OROPEZA & TAGLIAFERRO (2007), presentan un mapa que extiende el conocimiento del Cuaternario al conjunto del Valle de Caracas. Este producto resulta de la identificación fotogeológica de los diversos cuerpos sedimentarios y de su organización secuencial a partir de criterios morfoestratigráficos y morfotectónicos. La información obtenida se optimizó con observaciones de campo efectuadas en unas 250 excavaciones sobre las características depositacionales y la datación relativa de los cuerpos sedimentarios identificados. Por último, se aprovechó la información litoestratigráfica de interés extraída del Banco de Datos Geotécnicos creado por el Proyecto SIGAMC-FONACIT.

AGUILAR & CARABALLO (2007), caracterizaron química y radiométricamente un total de 256 muestras, de los sedimentos aluviales de la parte este del valle de Caracas, a partir de pozos ubicados en Los Chorros (Colegio Don Simón), Sebucán (estacionamiento de la Escuela de Enfermería de la UCV) y Parque del Este (sede principal de INPARQUES). Los ensayos utilizados fueron los de minerales pesados, color Munsell y difracción de rayos X (DRX).

ZAMBRANO (2007), en su Trabajo Especial de Grado realizó un estudio geológico superficial en una zona de El Hatillo, al sureste de Caracas, caracterizó desde el punto de vista geotécnico, y elaboró perfiles en los cuales se expresa el grado de meteorización presente en las rocas.

FARFAN & MARCONI (2008), realizaron la caracterización geomecánica de los materiales que conforman el subsuelo a través del cual discurrirán los túneles gemelos y estaciones del Proyecto Línea 5 del Metro de Caracas C. A. Para la elaboración del Perfil de Sectorización Geomecánica se seleccionó y recopiló la información geológico-geotécnica sobre el área en estudio, así como también se procesaron los datos obtenidos de sondeos exploratorios que comprenden 40 perforaciones realizadas a lo largo del tramo.

SINGER & OROPEZA (2011), publican un trabajo que resulta de la creación de una base de datos de Geología Urbana del valle de Caracas, tomando en cuenta la carencia llamativa de información geológica concerniente al asiento aluvial de la ciudad capital. Entre los resultados más significativos, se encuentra una propuesta geológica de 11 microzonas consideradas homogéneas para fines de microzonificación sísmica y plasmadas en un mapa de unidades geológicas cuaternarias y fallas cuaternarias del valle de Caracas, así como la caracterización de cada microzona geológica en función de la evaluación de 7 parámetros considerados como significativos.

BARROSO & LANDAETA (2013), realizaron para su Trabajo Especial de Grado una caracterización geológica y geotécnica de las urbanizaciones Terrazas de las Acacias/Colinas de Santa Mónica y Colinas de Bello Monte/Lomas del Mirador en Caracas. En el trabajo realizaron un levantamiento geológico-geotécnico y toma de muestras en algunos puntos de los distintos afloramientos de la zona de estudio, realizan análisis petrológico sobre las muestras mediante secciones finas, utilizando el

microscopio de luz polarizada y ensayos geotécnicos como compresión simple en cubos de roca, elaboran mapas temáticos y perfiles geológico-geotécnicos.

## **CAPÍTULO II**

### **II.1 MARCO TEÓRICO**

#### **II.1.1 Suelos**

Son el producto de la disgregación por erosión y meteorización de los macizos rocosos ya preexistentes, las dilataciones y contracciones que son producidas por los cambios de temperatura, oxidación, carbonatación, hidratación, el viento, las raíces y los microorganismos son los principales agentes formativos de suelo (GUEVARA & LÓPEZ, 2012).

Existen tres tipos generales de meteorización:

- Física: es el proceso por el cual las rocas se fracturan en piezas de menor tamaño bajo la acción de fuerzas físicas, como la corriente de agua de los ríos, vientos, olas oceánicas, hielo glaciar, acción de congelamiento, además de expansiones y contracciones causadas por la ganancia y la pérdida de calor y durante el proceso no cambia la composición química original del material parental.
- Química: es el proceso de descomposición química de la roca original, el material se cambia a otro totalmente diferente, principalmente por procesos de hidratación, disolución, oxidación o cementación de suelo
- Biológica: “producida por la actividad bacteriana, induciendo putrefacciones de materiales orgánicos y mezclando el producto con otras partículas de origen fisicoquímico actuando de elemento catalizador” (VALLEJO, 2002).



Estos tipos de alteraciones transforman la roca original, generándose un perfil de meteorización del suelo. En la figura 2 se puede observar como distintos autores han clasificado el grado de meteorización que se puede dar. Cuando el suelo no sufre de transporte, se queda en el mismo sitio se le denomina suelo residual, mientras que, si el suelo ha sufrido transporte de una zona a otra, formando depósitos coluviales o aluviales, se le denomina suelo transportado.

PERFIL ESQUEMÁTICO	LOVE (1951) LITTLE (1961)	VARGAS (1951)	SOWERS (1954, 1983)	CHANDLER (1969)	GEOLOGICAL SOC. ENG. GROUP (1970)	DEERE Y PATTON (1971)	
	ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS, BASÁLTICAS Y ARENISCAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	MARGAS Y LIMOLITAS	ROCAS ÍGNEAS	ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS	
	VI SUELO	SUELO RESIDUAL	ZONA SUPERIOR	V COMPLETAMENTE ALTERADA	VI SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IA	
	V COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RESIDUAL JOVEN	ZONA INTERMEDIA	PARCIALMENTE ALTERADA	IV	HORIZONTE IB	
	IV ALTAMENTE ALTERADA	CAPAS DE ROCA DESINTEGRADA	ZONA PARCIALMENTE ALTERADA		III	V COMPLETAMENTE ALTERADA	HORIZONTE IC (SAPROLITO)
	III MODERADAMENTE ALTERADA				IV ALTAMENTE ALTERADA	ZONA DE TRANSICIÓN	IA TRANSICIÓN CON ROCA METEORIZADA SAPROLITO
	II ALGO ALTERADA				III MODERADAMENTE ALTERADA		II DEBILMENTE ALTERADA
	I ROCA SANA	ROCA SANA	ROCA INALTERADA	I ROCA INALTERADA	II MUY POCO ALTERADA	ROCA SANA	
					IA ROCA SANA		

Fig 2. Perfil de meteorización del suelo. Tomado de GUEVARA & LÓPEZ (2012).

### II.1.2 Suelos Arcillosos

Los suelos están constituidos en su estructura básica principalmente por silicatos, donde el cristal típico de las arcillas es una estructura compleja de aluminosilicatos, el cual muestra substituciones irregulares e interposiciones entre las capas (LAMBE & WHITMAN, 1972).

Se trata de granos tamaño gel y se necesita que haya habido transformaciones químicas para llegar a esos tamaños. Están formadas por minerales silicatados, constituidos por elementos de cadenas de elementos

tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles, pudiendo entrar moléculas de aguas entre las cadenas (VALLEJO, 2002).

### **II.1.3 Suelos Expansivos**

Según BAYER (1972) un sistema coloidal seco absorbe moléculas de agua en fases de vapor, la cantidad de esta absorción depende de la presión de vapor, el tipo de mineral de arcilla y la naturaleza de los cationes intercambiables. Si el sistema coloidal es colocado directamente sobre agua líquida, absorberá el agua y aumentará su volumen en un proceso llamado expansión. El grado de esta toma de agua varía dependiendo de la naturaleza del coloide, es rápida al principio y luego disminuye su velocidad. La expansión de la arcillas puede ser intercapa o interpartícula; el primero, es causado por la interacción de fuerzas de rango corto entre las capas de minerales de arcillas expansibles o entre superficies planares del dominio de cristales minerales individuales, la energía de hidratación del mineral de arcilla determina el grado de hinchamiento; el segundo, es causado por fuerzas de rango largo que producen ensanchamiento osmótico el cual es una expresión de la repulsión entre estructuras doble capa, el equilibrio se da cuando la repulsión es balanceada por fuerzas reticulares derivadas de la atracción entre bordes positivos y caras negativas de los minerales de arcillas, este tipo de hinchamiento genera una presión considerable.

### **II.1.4 Efectos producidos por las arcillas expansivas en obras civiles.**

Muchas arcillas plásticas se expanden considerablemente cuando se agrega agua y luego se contraen con la pérdida de ésta. Las cimentaciones construidas sobre esas arcillas están sometidas a grandes fuerzas de levantamiento, agrietamiento y ruptura de la cimentación, y de los miembros de las losas directamente apoyadas en el terreno. Las arcillas expansivas cubren grandes extensiones de Estados Unidos, América del Sur, África,

Australia y la India. En general, las arcillas expansivas tienen límites líquidos e índices de plasticidad mayores a aproximadamente 40 y 15 respectivamente (PADRÓN, 2010).

### **II.1.5 Arcillas**

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Desde el punto de vista petrológico, la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ .
- Para un ceramista, una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico, las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, 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 2  $\mu\text{m}$ . 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.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un

sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2  $\mu\text{m}$  (ROMERO & BARRIOS, 2003).

### **II.1.6 Propiedades físico-químicas de las arcillas**

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- 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.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes; a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales (ROMERO & BARRIOS, 2003).

## II.1.7 Clasificación de las arcillas

La nomenclatura para la clasificación de los minerales de arcilla ha sido un tema ampliamente discutido, se da un esquema de clasificación en donde los filosilicatos son divididos en grupos, conteniendo subgrupos dioctaédricos y trioctaédricos; y cada subgrupo a su vez se divide en especies minerales (BARRETO & GODOY, 2018).

Tabla 1. Clasificación de las arcillas (GRANDE, 2000).

Tipo de capa	Grupo	Subgrupo	Especie Mineral
1:1	Caolinita-serpentina	Caolinita	Caolinita, dickita, halloysita
		Serpentina	Crisotilo, lizardita, amesita
2:1	Pirofilita-talco	Pirofilita	Pirofilita
		Talco	Talco
	Esmectita	Esmectita dioctaédrica	Montmorillonita, beidelita
		Esmectita trioctaédrica	Saponita, hectorita, Sauconita
	Vermiculita	Vermiculita dioctaédrica	Vermiculita dioctaédrica
		Vermiculita trioctaédrica	Vermiculita trioctaédrica
	Mica *	Mica dioctaédrica	Muscovita, paragonita
		Mica trioctaédrica	Flogopita, biotita, lepidolita
	Mica frágil	Mica frágil dioctaédrica	Margarita
		Mica frágil trioctaédrica	Clintonita, anandita
	Clorita	Clorita dioctaédrica	Donbasita
		Clorita ditrioctaédrica	Cokeita, sudoita
Clorita trioctaédrica		Clinocloro, chamosita, nimmita	

Los miembros del grupo de los minerales de la arcilla son difíciles de identificar por métodos ópticos debido a su pequeño tamaño de grano, las impurezas contenidas en las muestras, la presencia de combinaciones de capas mezcladas, su similitud óptica, cambios en los índices de refracción al secarse y cambios en los índices de refracción debido a la absorción de algunos líquidos de inmersión. En consecuencia, para su identificación se

emplean técnicas tales como: la microscopia electrónica, análisis químico, diagramas de rayos X y tinción mediante colorantes orgánicos (Azul de Metileno).

El grupo de las arcillas puede ser subdividido en varios subgrupos o series con sus especies principales (PADRÓN, 2010):

a) Subgrupo de la caolinita:

Mediante la difracción de rayos X, la caolinita se distingue por las reflexiones prominentes a 7,16 y 3,57 angstroms (caras 001 y 002). Los enlaces de puente de hidrógeno hacen imposible separar las láminas. Por lo tanto, la caolinita no es expansiva.

- Caolinita:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$
- Anauxita:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 (\text{OH})_4$
- Dickita:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$
- Nacrita:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$
- Halloysita:
  - Halloysita Hidratada:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
  - Meta-Halloysita:  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$
- Allofana:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (1-2) \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

b) Montmorillonoides (llamados también Esmectita):

Las esmectitas (particularmente la montmorillonita) son expansibles. Pueden alojar cationes (Ca y Na) solvatados en la intercapa lo que hace que el espaciado basal pueda llegar a los 180 angstroms. Esta adsorción de iones solvatados es reversible, lo que lleva a que los suelos ricos en esmectitas sean expansivos.

- Montmorillonita:  $(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_2 (\text{Si}_{4-3,5}, \text{Al}_{0-0,5}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 [\text{Ca}, \text{Na}]$
- Beidellita:  $(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_2 (\text{Si}_{3,5-3}, \text{Al}_{0,5-1}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2 [\text{Ca}, \text{Na}, \text{K}]$
- Nontronita:  $(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Mg})_2 (\text{S}, \text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2 [\text{Ca}, \text{Na}]$

- Saponita:  $(\text{Mg, Al})_3(\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10}(\text{OH})_2$

c) Subgrupo de la Illita

Las illitas son el grupo de minerales dominantes en las rocas arcillosas. Se forman por la meteorización de los silicatos (fundamentalmente feldespato), por alteración de otros minerales arcillosos y durante la degradación de la muscovita.

La estructura de la illita es muy parecida a la de la muscovita. En la posición de los K aparecen también moléculas de agua. El K entra en la intercapa sin agua, acomodándose en los huecos ditrigonales de los oxígenos basales de la capa tetraédrica.

El espaciado basal (10 angstroms) no varía por calentamiento. No son arcillas expansivas.

- Hidromoscovita:  $(\text{K, Na, H}_3\text{O})_2(\text{Al, Mg, Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+})_4(\text{Si}_2, \text{Al})\text{O}_{20}(\text{OH})_4$

d) Subgrupo vermiculita

Se forman por la alteración de minerales micáceos (biotita y clorita para dar vermiculita trioctaédrica, o muscovita para dar vermiculita dioctaédrica).

Las capas tetraédricas están separadas por una o dos láminas de agua, lo que le confiere un considerable espaciado basal (14-36 angstroms).

La estructura 2:1 es similar a la de las micas, pero en lugar de potasio, en la intercapa hay agua y magnesio (intercambiable).

La carga reticular es más alta que en las esmectitas. Este es el origen de la elevada CIC de este grupo.

- Vermiculita:  $(\text{MgFe, Al})_3(\text{Al, Si})_4 \text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Otro subgrupo, el de los minerales arcillosos de la palygorskita incluye las especies: attapulgita  $\text{Al}_2\text{Si}_5\text{O}_{13} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; palygorskita,  $\text{Mg}_2\text{Si}_3\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;

sepiolita,  $Mg_3Si_4O_{11} \cdot 5H_2O$  y otros. La palygorskita, se parece ópticamente a la montmorillonita pero tiene índices de refracción más elevados.

Los minerales de la arcilla con 2:1 (Si Al) incluyen no solo minerales de la arcilla, en sentido estricto Illitas y Montmorillonoides, sino también aquellos minerales similares genética y estructuralmente: Clorita sedimentaria y Vermiculita. Todos ellos forman capas escamosas similares con diferentes cationes entre capas:

- Illitas:  $K^{1+}$ ,  $Na^{1+}$ ,  $H_2O^{1+}$
- Montmorillonoides:  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{1+}$ ,  $H_2O$
- Cloritas:  $(Mg \cdot Al) (OH)^{1+}$
- Vermiculita:  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ .

Los minerales de la arcilla de capas no mezcladas tienen el mismo tipo de catión en las posiciones entre capas, pero si, por ejemplo, 5 o 10 capas están unidas por  $K^{1+}$  (Illita), mientras que otras 10 o 15 están enlazadas por  $Ca^{2+}$  (montmorillonita), el producto es un mineral de la arcilla de capas mezcladas (WEAVER, 1956). En apariencia los minerales de la arcilla de capas mezcladas se pueden formar mediante todas las combinaciones posibles de capas diferentes:

- Illita - montmorillonoide
- Illita - clorita
- Diferentes Illitas
- Diferentes Montmorillonoides
- Montmorillonoides (esmectita)-clorita
- Clorita-vermiculita (corrensita)
- Illita-clorita-montmorillonoides.

Los minerales de la arcilla de capas mezcladas se forman principalmente por alteración de minerales de la arcilla preexistentes durante



la meteorización o diagénesis. Las especies de capas mezcladas son difíciles de reconocer. La mejor manera de identificarlas es por medio de los métodos de rayos X y microscopía electrónica (PADRÓN, 2010).

### **II.1.8 Fundamentos de rayos X**

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de una corta longitud de onda y alta frecuencia, producida por la desaceleración de electrones de alta energía y/o por transiciones de electrones que se encuentran en los orbitales internos de los átomos (SCKOOG ET AL., 1992).

Este tipo de radiación ocupa sólo una parte del espectro electromagnético y sus longitudes de onda varían entre 10 nm y 0,01 nm (1nm o nanómetro equivale a  $10^{-9}m$ ; GRANDE, 2005). Propósito:

- Identificación de elementos químicos presentes en una muestra.
- Cuantificación de elementos según los patrones disponibles.
- Apoyo a la identificación de fases por difracción de rayos-X.
- Apoyo a estudios petrogenéticos.

Según CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000), los métodos de análisis que emplean rayos X son: Absorción, Difracción y Fluorescencia.

### **II.1.9 Difracción de rayos x**

Los rayos de luz se difractan al atravesar una rejilla, solo que a la escala en que ocurre el fenómeno en los rayos X es miles de veces menor que la escala a la cual ocurre en la luz visible. La luz visible tiene longitudes de onda entre 3.500-7.000 Å (1 Å =  $10^{-8}cm = 10\text{ nm}$ , nanómetros), los rayos X van: de 1 a 100 Å, típicamente entre: 0,7-2,5 Å. Si la rejilla de difracción para la luz visible consiste de una serie de surcos paralelos finísimos (un excelente ejemplo de esto es la parte inferior grabada de un *compact-disc*,

cuyos surcos miden milésimas de mm, ya que han sido hechos por un delgado rayo *láser*). Las aristas y las distancias interplanares de las celdas cristalinas tienen longitudes en el rango 3-30 Å, justo en el rango de magnitud de las longitudes de onda de los rayos X.

No existen dos sustancias cristalinas cuyas distancias entre planos estructurales sean idénticas en todas las direcciones axiales, un estudio completo en el cual una sustancia asumiera todas las posiciones angulares posibles al ser irradiada por una fuente de rayos X paralelos, con longitud de onda restringida y definida (radiación X monocromática), daría un resultado único para cada sustancia.

Para asegurar la irradiación en todos los ángulos posibles la muestra se prepara en forma de polvo fino y se monta en un porta muestras adecuado. De esta manera se pueden identificar en registros conformados por “picos” de difracción más de 4.000 especies minerales y otras decenas de miles de sustancias cristalinas sintéticas, tanto inorgánicas como orgánicas (GRANDE, 2000).

CASTRO & RIVERO (2010), establecen que la ordenación atómica de los copos de arcilla puede determinarse por los métodos de difracción de rayos X, ya que suministran los medios para poder medir el espaciado entre los planos atómicos, es decir, entre el grosor de la lámina; de esta forma las observaciones practicadas suministran algún dato, por lo que se refiere a la forma de las partículas de arcilla.

## II.2 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Se realizó una revisión de cada una de las unidades geológicas ubicadas dentro del área de estudio, a través de los mapas geológicos de Cordillera de la Costa, (URBANI & RODRÍGUEZ, 2004) con su última actualización, (SÁNCHEZ, 2019), y el mapa de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas, (SINGER, ZAMBRANO, OROPEZA & TAGLIAFERRO, 2007).

### II.2.1 Unidades geológicas de mayor extensión

#### ***Complejo San Julián (Terreno Ávila) - Neoproterozoico-Paleozoico***

Descripción: Las rocas preponderantes son el esquisto y gneis cuarzo-micáceo-plagioclásico, donde frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico.

#### ***Esquisto de Las Brisas (Terreno Las Brisas) - Jurásico Tardío-Cretácico Temprano***

Descripción: Está constituida por esquisto cuarzo-albítico-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, mármol, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas.

Esta unidad cuenta con las siguientes subunidades aflorantes dentro del área de estudio:

- *Metaconglomerado de la Mariposa:* (metaconglomerado cuarcífero).
- *Metaconglomerado de Baruta:* (metaconglomerado microclínico).
- *Mármol de Zenda:* (mármol dolomítico).

➤ *Metaconglomerado Basal.*

***Esquisto de Las Mercedes*** (*Terreno Las Mercedes*) –  
*Cretácico Tardío*

Descripción: Consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes.

## **II.2.2 Unidades geológicas de menor extensión**

***Augengneis de Peña de Mora*** (*Terreno Ávila*) -  
*Paleoproterozoico – Mesoproterozoico*

Descripción: Complejo metamórfico compuesto de cuarzo, plagioclasa, microclino, muscovita, epidoto y cantidades menores de biotita, clorita y granate.

***Gneis de Sebastopol*** – *Ordovícico*

Descripción: Gneis. Probable basamento de la Faja de Caracas.

***Metaígneas de Tocome*** (*Terreno Ávila*) - *Cámbrico Medio a Ordovícico Tardío*

Descripción: Metagabro de grano fino, metagabro foliado, metatonalita y metagabro de grano medio.

***Serpentinita*** (*Terreno Carayaca*) - *Jurásico Tardío-Cretácico Temprano*

***Mármol de Antímamo*** (*Terreno Carayaca*) - *Jurásico Tardío-Cretácico Temprano*

Descripción: Caracterizado por mármol masivo con intercalaciones de rocas máficas (anfibolita granatífera, esquisto glaucofánico y eclogitas).

**Complejo Carayaca** (*Terreno Carayaca*) - *Jurásico Tardío-Cretácico Temprano*

Descripción: Contiene metasedimentos, mármol y cuerpos máficos (eclogita, anfibolita, metagabro).

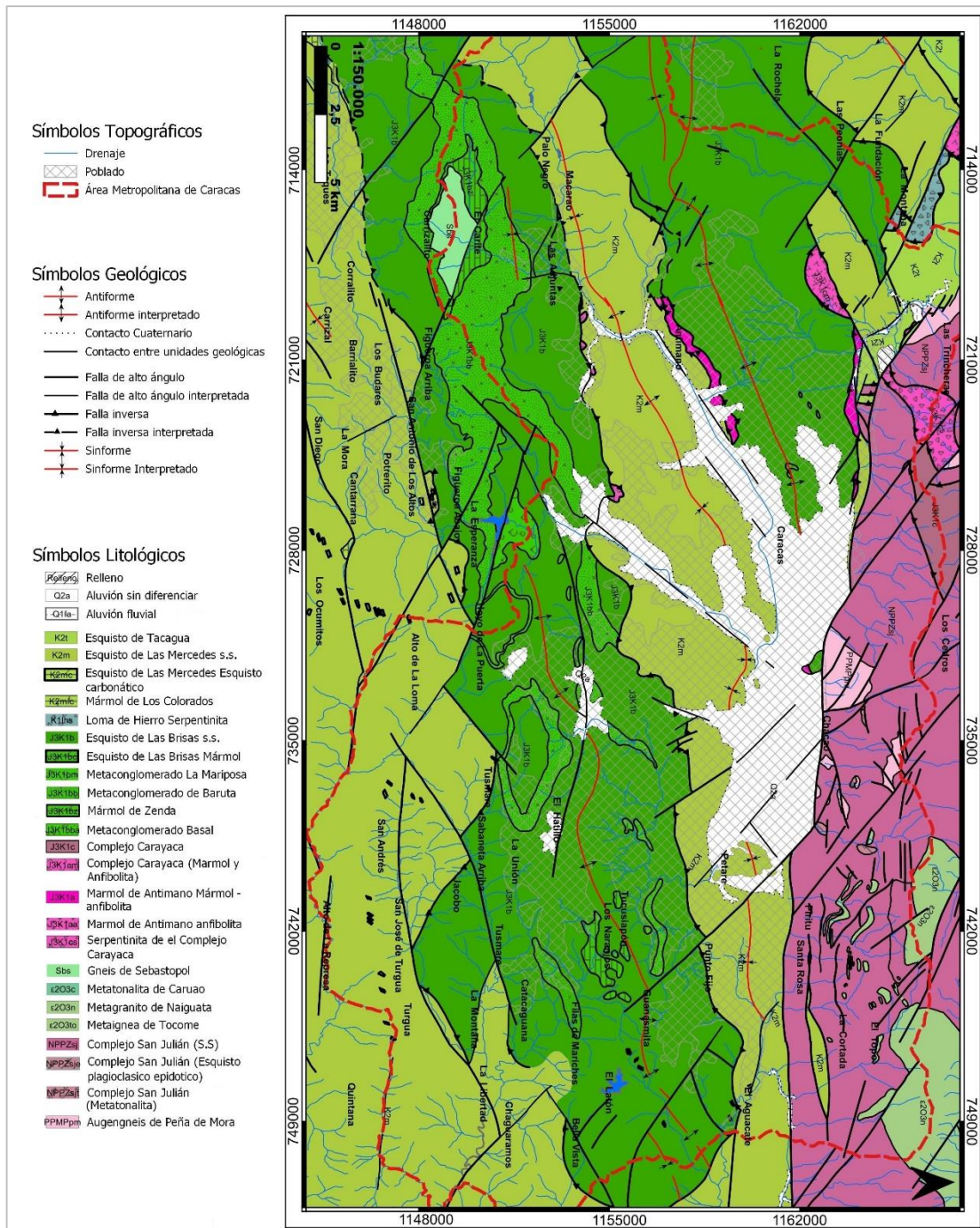


Fig 3. Mapa geológico de la zona de estudio. Tomado y modificado del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa (URBANI & RODRÍGUEZ, 2004) y sus últimas actualizaciones (SÁNCHEZ, 2019).

## **II.2.3 Unidades Cuaternarias**

### **II.2.3.1 Unidades Cuaternarias del Valle de Caracas**

#### ***Depósitos aluviales del Pleistoceno inferior (Q4 y Q3)***

##### *Depósitos Q4*

Descripción: Materiales heterométricos y muy desordenados originados por deslaves torrenciales. Los materiales aluviales han sufrido una importante alteración geoquímica arcillosa. El tope de los perfiles se encuentra sellado por una potente laterita rojiza oscura.

##### *Depósitos Q3*

Descripción: Materiales de deslaves torrenciales explayados en el piedemonte montañoso y altamente descompuestos, con intercalaciones de niveles fangolíticos.

#### ***Depósitos aluviales del Pleistoceno medio (Q2)***

Descripción: Abanicos y terrazas fluvio-torrenciales, incluyendo materiales de deslaves, y pasando a facies más finas de explayamientos areno-gravosos e intervalos fangolíticos hacia la parte superior de los perfiles, frecuentemente descabezada y retrabajada bajo la forma de rampas detríticas coluviales. Remanentes de edafosuelos rosados desgarrados en la masa de los sedimentos.

#### ***Depósitos aluviales del Pleistoceno superior (Q1)***

Descripción: Los depósitos Q1, incluyen 3 unidades litológicas principales generadas a consecuencia de:

A. Depósitos lacustres originados por obturación lateral de los ríos Guaire y Valle y entallados en terraza. El remanente más extenso de esta

unidad aflora en la depresión semi-cerrada de Prado de María- Los Rosales - San Pedro (Rincón del Valle) con facies rítmicas de varvas limo-arcillosas de color litocromo alterado marrón claro (verano) a anaranjado-rosado (invierno). Lateralmente, y hacia las fuentes de aportes, esta facies pasa a materiales más arenosos de origen coluvio-torrencial.

B. Q1 (o Q0b?), niveles encajados de descarga y de erosión tardío-lacustre, entallados en los depósitos de la Unidad anterior, o a expensas de otras unidades pleistocenas.

C. Unidad indiferenciada de sedimentos fluvio-torrenciales y fluvio-paludales de las partes distales del abanico del casco viejo de la ciudad, y de materiales coluvio-torrenciales entallados en terraza en los apéndices del Valle de Caracas.

### ***Depósitos aluviales del Holoceno (Q0b y Q0a)***

Descripción: Estas unidades incluyen la depositación de sedimentos relacionados con:

#### *Holoceno superior (Q0a) y Pleistoceno superior Q1*

➤ Deslaves y aludes torrenciales (2 eventos estratigráficos superpuestos). Facies distal de explayamientos, y canales de deslaves (Evento Q0a).

➤ Deslaves y aludes torrenciales: 2 eventos estratigráficos superpuestos en los abanicos de El Pedregal - Country Club, el más reciente prehispánico y posiblemente de época Meso-Indio (yacimiento arqueológico soterrado de Boleíta bajo 3 metros de aluviones); el más antiguo, del Pleistoceno superior o Holoceno inferior (?), oculto bajo el anterior. Facies proximal de acumulaciones caóticas de bloques rocosos (Evento Q0a).

#### *Holoceno superior (Q0a) a Holoceno inferior (Q0b)*

➤ Difluencias y canales de descarga del Río Guaire.



- Bancos aluviales.
- Planicie aluvial de descarga y de inundación de los ríos Valle y Guaire. Arcillas grises ubicadas a 7 metros de profundidad cerca del Nuevo Circo. Paleosuelos negruzcos enterrados en los primeros 10 metros de profundidad y yacimientos arqueológicos precolombinos del Período Neo Indio III y IV (1, 2, 3, 4 y 5) se encuentran soterrados bajo los aluviones en varios sitios del Valle hasta 5 metros de profundidad.
- Canal de descarga del Río Valle.

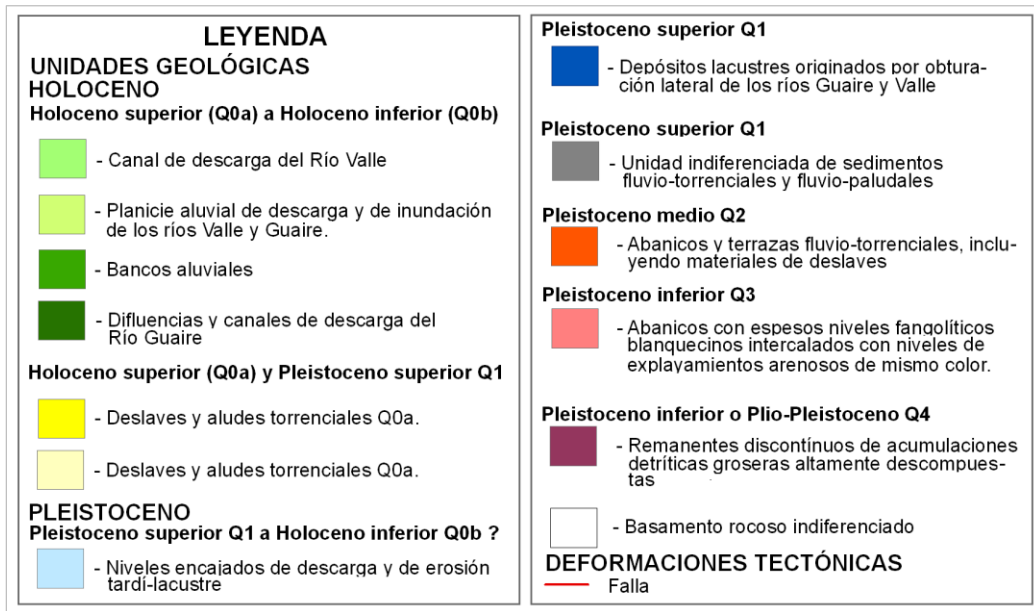
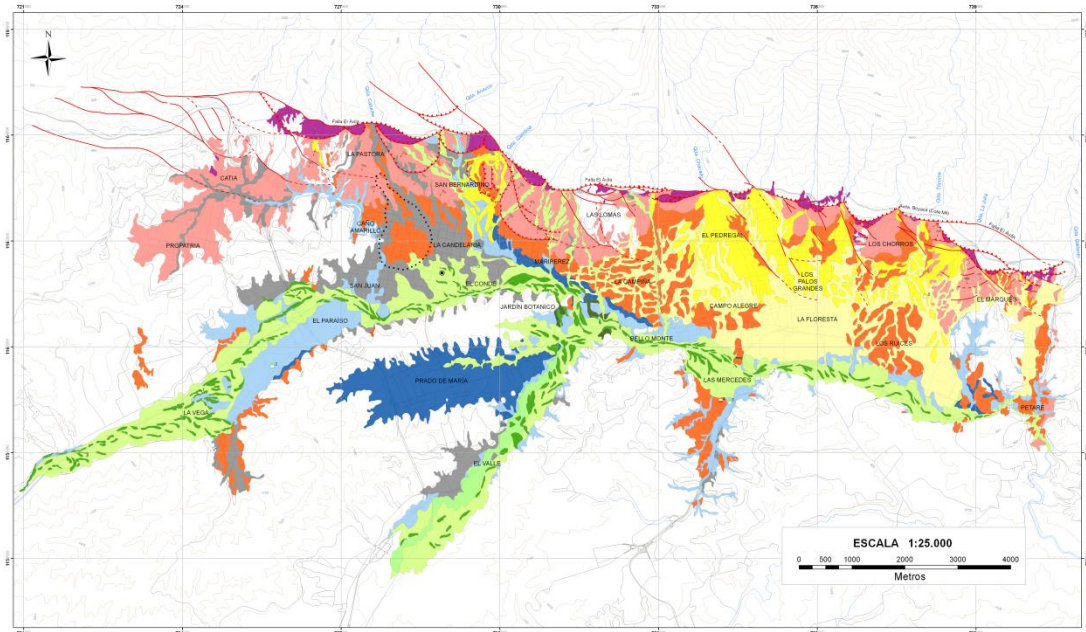


Fig 4 y 5. Mapa y Leyenda de unidades depositacionales cuaternarias del Valle de Caracas. Modificado de SINGER, ZAMBRANO, OROPEZA & TAGLIAFERRO (2007).

### II.2.3.2 Unidades cuaternarias sin diferenciar

Existen varios cuerpos cartografiados de unidades cuaternarias de poca extensión; la mayoría están constituidos por depósitos aluviales; sin

embargo, no se tienen mayores descripciones. A continuación, las localidades de los depósitos cuaternarios:

- Hatillo (Sector La Lagunita)
- Baruta (entre el sector Baruta, La Esmeralda y La Trinidad)
- Sartenejas
- La Rinconada
- Caricuao
- Qda Tacagua
- Curupao

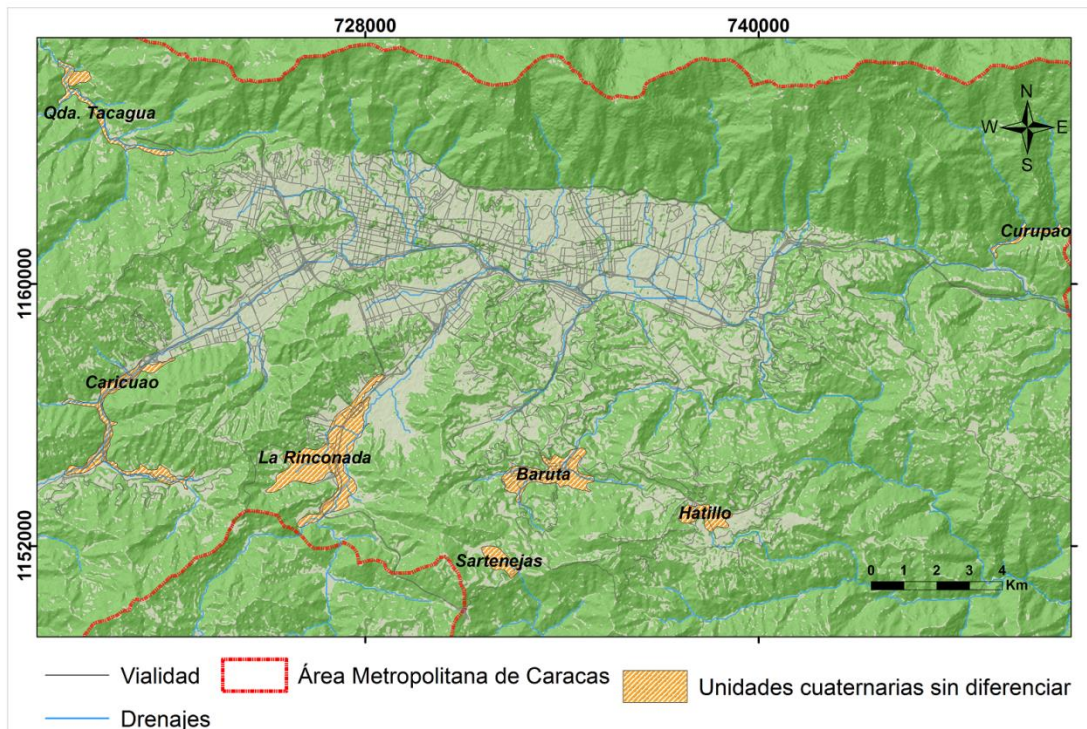


Fig 6. Unidades cuaternarias sin diferenciar.

#### **II.2.4 Sedimentos de flujos torrenciales en el valle de Caracas**

En el valle de Caracas se encuentran unidades que corresponden a sedimentos depositados por flujos torrenciales. Estos fueron identificados en la parte este de la ciudad por SINGER (1977), mayormente en El Pedregal, Altamira, La Castellana, Parque del Este, Los Chorros, entre otros. Décadas atrás, estos bloques decimétricos a métricos eran visibles en la superficie en muchos lugares no urbanizados del Este de Caracas, mientras que hoy día sólo pueden verse en los jardines de algunas casas, en las fundaciones de los nuevos edificios o en los cauces de las quebradas no embauladas. Estas unidades formadas por destructores flujos de detritos están concentradas al pie del flanco sur de la Silla de Caracas y del Pico Naiguatá, que precisamente es el de mayor pendiente y en las laderas afloran litologías gnéisicas.

En las fundaciones del Teatro Teresa Carreño y zonas circundantes, bajo un manto de unos 3 a 8 m de espesor de sedimentos depositados por un flujo torrencial pasado, en 1972, el Prof. André Singer localizó un nivel de paleosuelos con restos óseos humanos y fragmentos de cerámica arqueológica. Estos tiestos fueron examinados por el arqueólogo José María Cruxent quien los identificó como pertenecientes al estilo Valencioide correspondiente al período III del Neolítico (350-1100 DC); por consiguiente, estos flujos torrenciales cubrieron buena parte del valle de Caracas y a sus habitantes indígenas. Más recientemente, en las excavaciones de la Línea 4 del Metro de Caracas, hubo un hallazgo similar bajo unos 5 m de espesor de sedimentos en las cercanías del “Nuevo Circo” (URBANI, 2012).



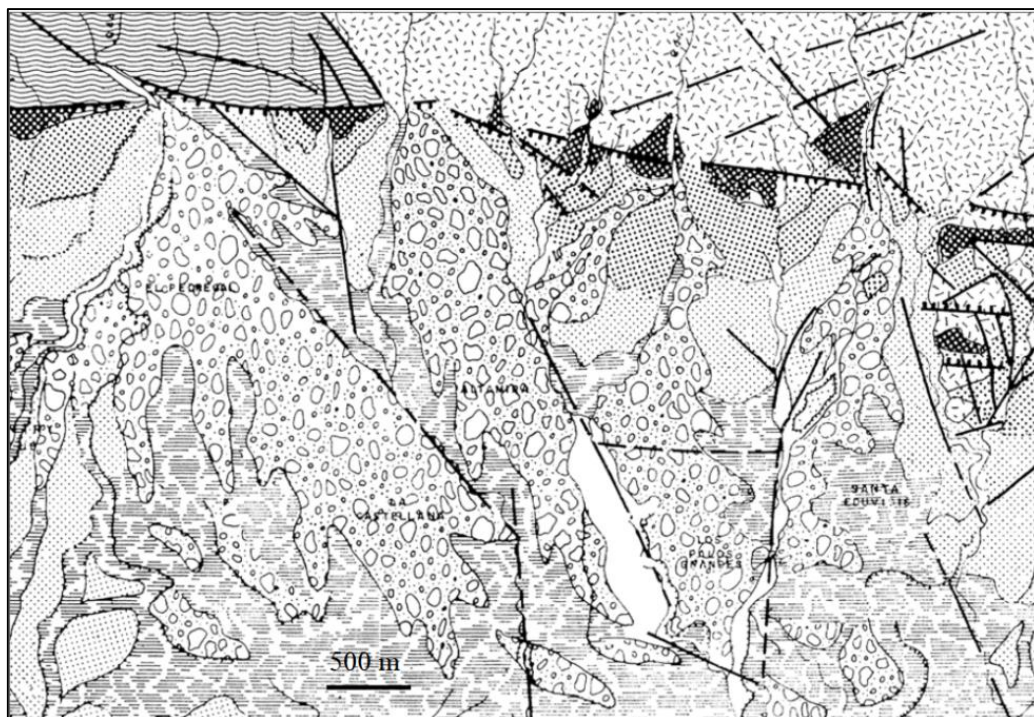


Fig 7. Fragmento del mapa geológico del valle de Caracas (SINGER, 1977), con la distribución de los sedimentos de facies proximal (grandes bloques) depositados por aludes torrenciales del Holoceno. Note la ubicación de El Pedregal, Altamira y Los Palos Grandes.

### II.2.5 Geología estructural

Según DENGÓ (1951), los pliegues y fallas mostrados en el mapa tectónico de la región de Caracas, fueron formados después del metamorfismo de la región. Algunas de estas estructuras, particularmente varias de las fallas, pueden ser bastante recientes.

La Sierra del Ávila está formada principalmente por gneis, y está limitada por el norte y el sur por zonas de fallas. No se trata de un simple horst o bloque de falla, ya que las fallas en el lado norte, zona de fallas de Macuto, son de carácter y edad diferente a las del lado sur, o zona de fallas del Ávila.

La franja de esquistos entre la Sierra del Ávila y la costa del Mar Caribe presenta una estructura muy compleja, que el autor no ha intentado

descifrar. Al sur y al oeste de Caracas existen varios pliegues grandes y asociados a ellos hay algunas estructuras menores.

Los tres pliegues principales son el Anticlinal del Junquito, el Sinclinal del Cementerio y el Anticlinal de Baruta.

Para el caso de la zona de estudio, la estructura que domina la zona es el anticlinal del Cementerio; el cual se encuentra al norte del anticlinal de Baruta. El esquisto de Las Mercedes se encuentra en el fondo del sinclinal, plegado y fallado en menor escala en una forma compleja.

El rumbo general de su eje es N60E, y el declive (plunge) es en esa misma dirección. El eje está en gran parte cubierto por el aluvión del valle de Caracas, pero a juzgar por los afloramientos del esquisto de Las Mercedes al este de Petare, parece que cambia de rumbo, tomando uno este – oeste, paralelo a la zona de fallas del Ávila (DENGO, 1951).

En la región de Caracas han sido encontrados tres tipos principales de fallas, a saber:

- Fallas inversas con buzamiento hacia el sur.
- Fallas con rumbo aproximado de N 60 O y buzamiento hacia el suroeste.
- Fallas con rumbo este – oeste y buzando al norte en ángulos fuertes.
- Estas fallas siguen un orden cronológico relativo, por lo que las fallas inversas con buzamiento al sur son las más antiguas.

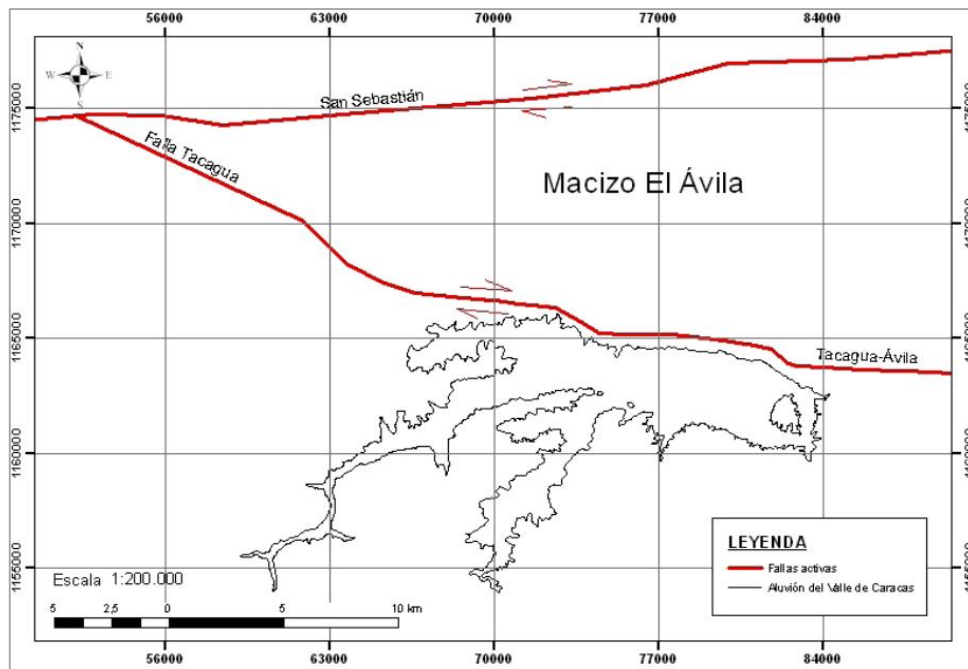


Fig 8. Fallas activas del Valle de Caracas (URBANI & RODRIGUEZ, 2004).

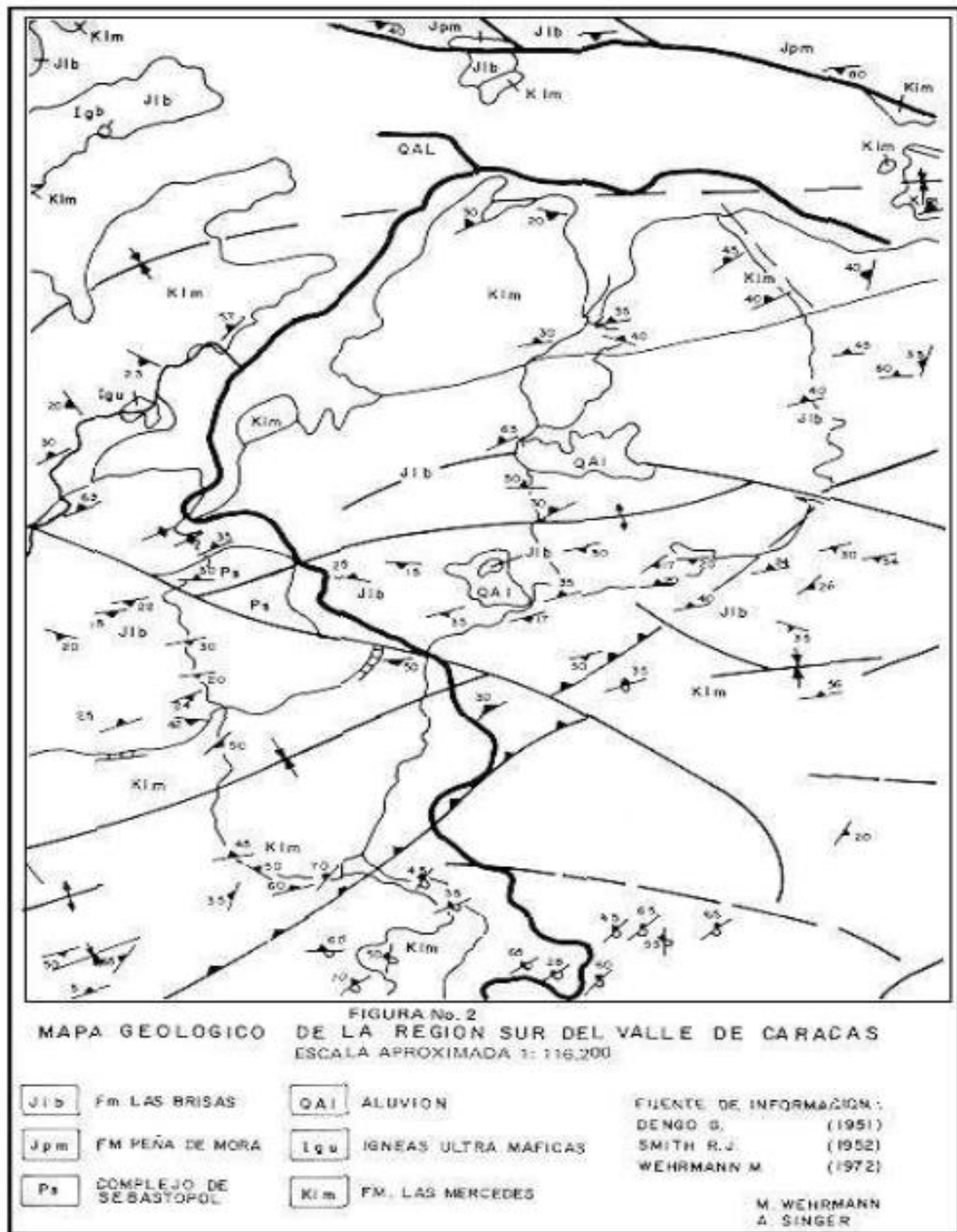


Fig 9. Mapa geológico del sur de Caracas (DENGO, 1951), modificado por WEHRMANN & SINGER (1977).



## II.2.6 Marco Tectónico

La zona de estudio se encuentra, dentro del sistema Montañoso del Caribe, el cual comienza al este de San Felipe, estado Yaracuy (Surco de Barquisimeto) y termina en Cabo Codera. En él afloran rocas ígneas y metamórficas cuyas relaciones estructurales y estratigráficas son bastantes complejas, lo que ha llevado a diversas interpretaciones de estas relaciones.

MENÉNDEZ (1966), fue el primero en realizar un estudio regional. Dividió formalmente el Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela en cuatro fajas tectónicas, a saber:

- Faja de la Cordillera de la Costa
- Faja de Caucagua-El Tinaco
- Faja de Paracotos
- Bloque alóctono de Villa de Cura

URBANI & OSTOS (1989) & URBANI (1988) dividen la Cordillera de la Costa en tres fajas según asociaciones litológicas, las cuales son:

- Faja Septentrional, donde predominan las rocas metaígneas máficas y ultramáficas.
- Faja Central, donde las litologías características son los gneises graníticos, usualmente rodeados por un esquisto cuarzo-plagioclásico micáceo de alto grado metamórfico, caracterizado por la presencia del mineral metamórfico biotita en coexistencia con el almandino (Asociación biotita-granate, índice de alto grado metamórfico).
- Faja generalmente ubicada al sur de la zona de fallas de El Ávila, La Victoria y Las Trincheras-Mariara, donde aflora una secuencia de rocas metasedimentarias pertenecientes al Grupo

Caracas, fundamentalmente constituida por sedimentos pelíticos y psamíticos metamorfizados a la facie de los esquistos verdes.

OSTOS (1990), basándose en las nuevas herramientas y teorías de tectónica global, dividió el Sistema Montañoso del Caribe en Venezuela en cinco cinturones tectónicos, los cuales han sido fuertemente deformados, en cuatro fases de plegamiento reconocidas. Los cinturones son:

- Cinturón tectónico de la Cordillera de la Costa
- Cinturón tectónico de Paracotos
- Cinturón tectónico de Caucagua-El Tinaco
- Cinturón tectónico de Villa de Cura
- Terreno de la Cordillera de la Costa-Margarita

Las primeras dos fases de deformación fueron identificadas en el cinturón tectónico Caucagua-El Tinaco y ellas probablemente fueron el resultado de una orogénesis ocurrida durante el Pérmico, la cual debió afectar también al cinturón de la Cordillera de la Costa, mientras que las dos últimas fases de deformación fueron reconocidas en todos los cinturones, y probablemente se generaron durante la orogénesis del Cretácico Tardío-Terciario.

## II.2.7 Mapa geológico de la ciudad de Caracas, 1986.

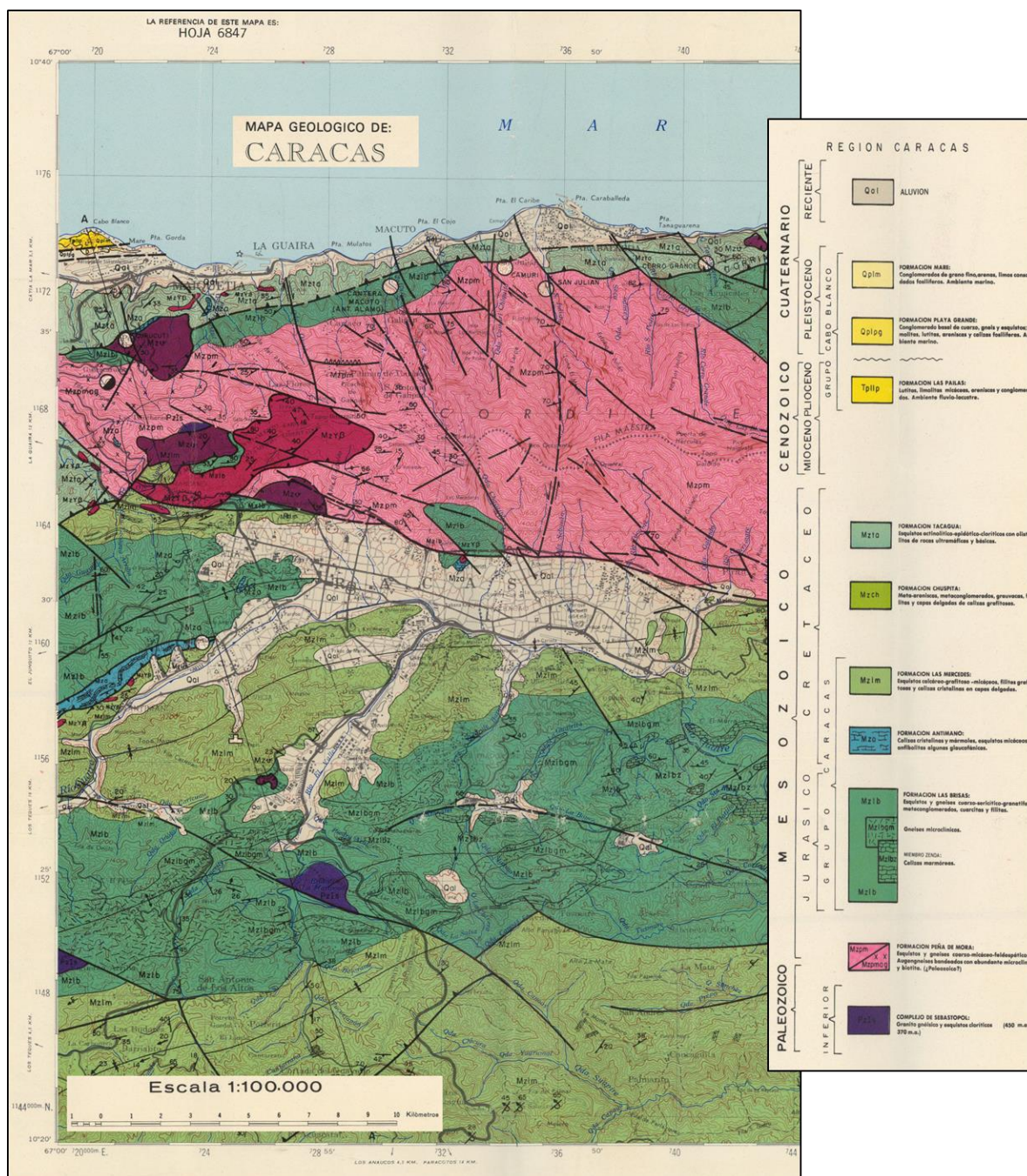


Fig 10. Mapa geológico de la ciudad de Caracas. Ministerio de Energía y Minas. Cartografía geológica por AGUERREVERE, ZULOAGA, DENG, WEISBORD, SEIDERS, PICARD, PIMENTEL, FANTI, FRONTADO & VECCHIO (1986).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

El estudio contó con 4 etapas fundamentales para lograr cumplir los objetivos: estas etapas fueron: recopilación y análisis bibliográfico, muestreo, laboratorio y oficina.

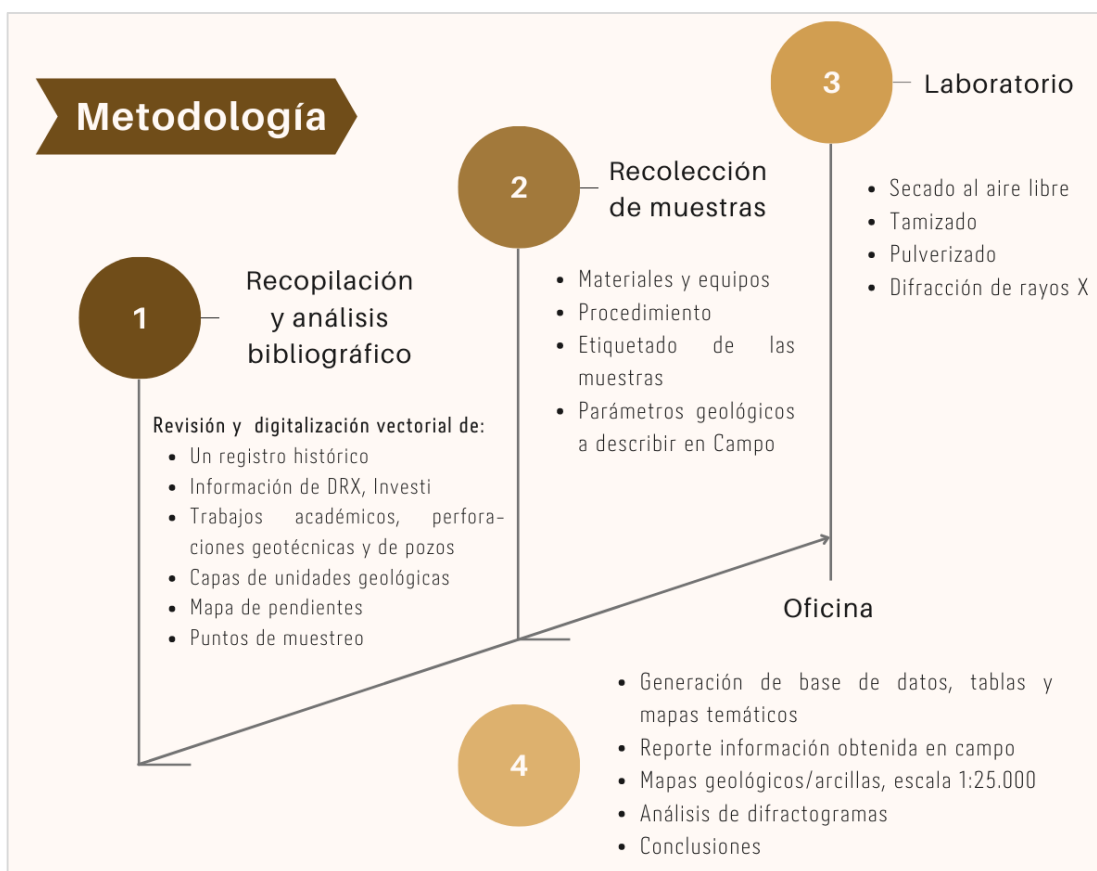


Fig 11. Diagrama metodológico.

### **III.1 Etapa de recopilación y análisis bibliográfico**

En esta etapa se realizó una revisión y recopilación bibliográfica de trabajos de grado, escritos académicos y estudios técnicos independientes sobre análisis mineralógicos y ubicación de cuerpos de arcillas, así como la geología regional correspondiente a la zona de estudio. Se detalló a través de un análisis crítico la calidad de los análisis realizados en las muestras encontradas en la recopilación bibliográfica, y se determinaron las áreas que requirieron nuevos muestreos para el análisis en laboratorio.

#### **III.1.1 Herramientas utilizadas**

##### **A) Software:**

- ArcGIS 10.3
- QGIS Desktop 3.16.4
- Software DRX

**B)** Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, (en versión digital y vectorial), (URBANI & RODRÍGUEZ, 2004) y la última actualización en la zona de estudio, (SÁNCHEZ, 2019). Extracción de 14 Mapas geológicos a escala 1:25.000 que cubren la totalidad de la zona de estudio:



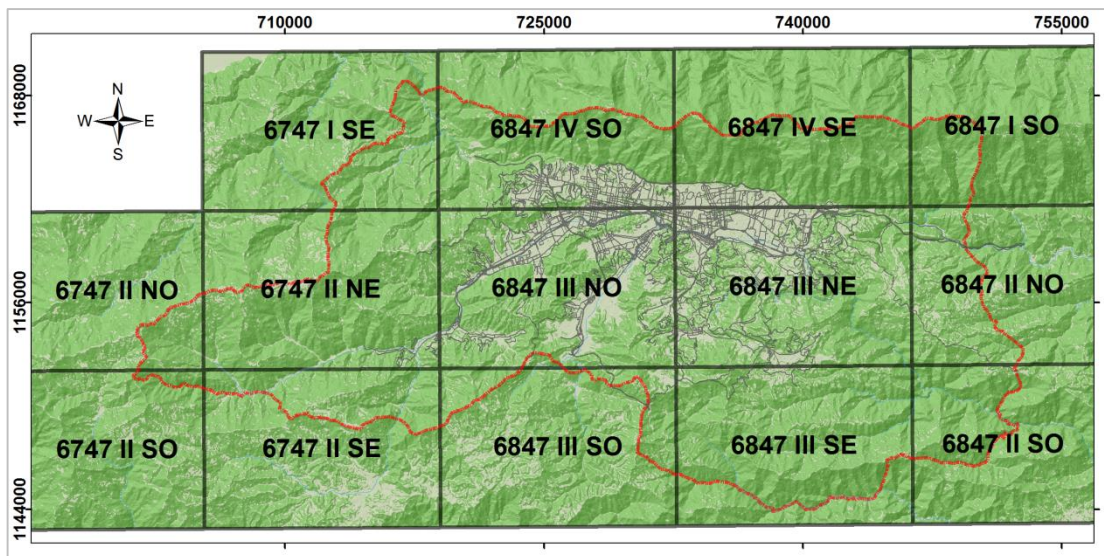


Fig 12. Mapa con el nombre de las Hojas utilizadas del Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa.

- C)** Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas a escala 1:25.000 en versión digital y vectorial (SINGER, ZAMBRANO, OROPEZA & TAGLIAFERRO, 2007).
- D)** Imágenes de Radar obtenidas a través del Satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial, y su sensor PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar), con resolución espacial de 12,5m, se utilizaron 3 escenas de 50km x 70km (enero a febrero del 2011) con las que se elaboró:
  - Un Modelo Digital de Elevación (DEM).
  - Procesamiento y digitalización de la red hidrológica.
  - Procesamiento y digitalización de curvas de nivel.
  - Mapa de Sombras.
  - Mapa de Pendientes.
- E)** Mapas temáticos a escala 1:150.000 “*Estudio sobre el plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela*”. AGENCIA DE

COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE JAPÓN (JICA) & ALCALDÍA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE CARACAS (2004).

- Mapa de área de estudio (con límites de ADMC).
- Mapa de Red Vial
- Mapa de red hidrológica
- Mapa de límite de parroquias
- Mapa de densidad de población

**F)** Bases de datos de más de 40 empresas privadas y públicas, que en total suman más de 8mil datos de perforaciones geotécnicas, perforaciones de pozos y sus respectivos perfiles litológicos, a lo largo del Área Metropolitana de Caracas.

**G)** Mapas satelitales para diferentes análisis e interpretaciones:

- Google Maps
- Google Earth
- Bing
- Open Street Map

**H)** Documentos históricos donde se evidencian antiguos aprovechamientos y fuentes de arcillas en el Área Metropolitana de Caracas.

### **III.1.2 Parámetros de proyección**

Toda la base cartográfica utilizada para este trabajo fue transformada y corregida para el sistema de proyección de coordenadas WGS 84 (World Geodetic System 1984), Zona: 19, Hemisferio: Norte.

### **III.1.3 Mapa de pendientes generado a través de ArcGIS**

Se elaboró un mapa de pendientes a través del software ArcGIS, con imágenes de radar del Satélite ALOS PALSAR, con resolución espacial de 12,5m.

#### **III.1.4 Método de clasificación de los rangos de pendiente**

Los rangos de pendientes se realizaron de acuerdo a la clasificación de LUGO (1986), donde plantea una metodología geomorfológica que se puede aplicar a valles fluviales y con amplia variación de los valores de pendientes, como es el caso en el área de estudio. El mismo autor señala que los valores de inclinación del terreno están estrechamente relacionados con la erosión potencial y diversos procesos exógenos, por lo que a mayor valor de pendiente estos valores aumentan (LUGO, 1988).

#### **III.1.5 Revisión y cartografiado de un registro histórico con evidencia de arcillas en el Área Metropolitana de Caracas**

Se realizó un mapa temático con la ubicación de zonas donde se describían antiguas fuentes de materiales arcillosos entre los siglos XIX y XX, que se utilizaban para fines de construcción como tejas, adobe, bloques, etc; en la ciudad de Caracas.

El mapa se generó a través de una capa vectorial de puntos y áreas, con ayuda de imágenes satelitales (Google Earth, Google Maps y Open Street Map) para dar con la ubicación relativa de las áreas descritas en los documentos revisados. En algunos casos, fue necesario documentarse con antiguos mapas de la ciudad; ciertos nombres de locaciones han cambiado con el tiempo, así como importantes haciendas de la época han dado paso a la construcción de obras urbanas.

#### **III.1.6 Revisión y cartografiado de información mineralógica por DRX obtenida de Investi**

Gracias al aporte de los laboratorios de investigación de Investi, ubicados en el km 8 de la carretera Panamericana de Caracas, se logró extraer una serie de fichas con resultados mineralógicos por DRX, dedicados



a la identificación de minerales de arcilla en diferentes zonas del territorio nacional en la que usaban una metodología basada en las investigaciones de RIVERO (1962 Y 1964); estos laboratorios tuvieron operaciones entre las décadas de los 60's, 70's y 80's. Actualmente sus actividades han menguado, dedicando sus instalaciones a otro tipo de trabajos, sin embargo, aún conservan archivos con valiosa información.

Las ubicaciones de los puntos de muestreo de Investi se describen de manera muy relativa, debido a que, para la época en que se realizaban los muestreos no existía la tecnología GPS, ni sistemas con información cartográfica completamente desarrollados.

Ellos utilizan carreteras, nombres de sectores, nombres de canteras e intersecciones entre vías, por lo que, para generar la capa cartográfica de puntos, se utilizó la misma metodología usada para la digitalización de la capa del registro histórico del apartado anterior.

### **III.1.7 Revisión y selección de puntos de interés de las bases de datos de trabajos académicos, perforaciones geotécnicas y de pozos**

Para este estudio se contó con el valioso aporte de más de 8mil datos de perforaciones geotécnicas y de pozos de más de 40 empresas privadas y del estado; realizadas en gran extensión del Área Metropolitana de Caracas desde los años 70's. Ésta data fue utilizada en el trabajo de OROPEZA & ZAMBRANO (2007). Todos los puntos fueron georeferenciados en una base cartográfica.

También, se contó con diversos trabajos académicos realizados en la zona de estudio de los cuales se extrajeron puntos de interés. Se realizó una base de datos con la información obtenida de dichos trabajos, y se anexó a la base cartográfica.

### ***Primer filtro***

Se hizo una revisión de cada una de las planillas y perfiles litológicos de dichas perforaciones, de las cuales se extrajeron alrededor de 800 puntos donde se evidencia presencia de material arcilloso en las capas superficiales (en ocasiones mezclado con porcentajes variables de limo o arena fina), muchos de estos con varios metros de profundidad.

### ***Segundo filtro***

Un segundo filtro se realizó con la finalidad de seleccionar solo aquellos puntos en los que se enfatizara el mayor porcentaje de arcillas posible y donde los topes de las capas descritas como arcillosas comenzaran desde la superficie, o desde unos pocos centímetros de profundidad. En total, se extrajeron 283 puntos de los 800 seleccionados en el primer filtro.

### ***Tercer filtro***

Debido a la complejidad de tomar muestras en una zona tan urbanizada como el Área Metropolitana de Caracas, y considerando, que muchas de las perforaciones de las bases de datos son a partir de los años 70's, la posibilidad de que muchos puntos estén debajo de nuevas construcciones es un factor que dificultaría el muestreo.

Para tratar de evitar este problema, se empleó un tercer filtro en el cual, a través de vistas de mapas satelitales, con ayuda del software QGIS y sus complementos Quick Map Services y Open Layers Plugins, que permiten ver y superponer diferentes servidores de mapas satelitales.

En este análisis se utilizaron (Google Satellite, Bing Satellite, Open Street Map y OCM Landscape). Fue útil utilizar varios servidores de mapas satelitales debido a que en algunos casos no se podía ver si el punto se encontraba sobre terreno expuesto, los ángulos de incidencia de las

imágenes satelitales de este tipo no son completamente ortogonales a la superficie (no se encuentran ortorectificadas), por lo que algunas edificaciones elevadas se ven inclinadas, ocultando carreteras o terrenos circundantes. Se eliminaron más de 100 puntos, quedando 133.

### III.1.8 Integración de los datos y selección de las zonas para la toma de muestras

#### III.1.8.1 Respecto a las unidades geológicas

Con el uso de las capas vectorizadas de las unidades geológicas del área de estudio, se realizó una superposición con los 133 puntos de perforaciones filtrados previamente de las bases de datos, con la finalidad de eliminar puntos que se encontraran muy agrupados y cercanos dentro de mismas unidades geológicas. Se obtuvieron, un total de 93 puntos.

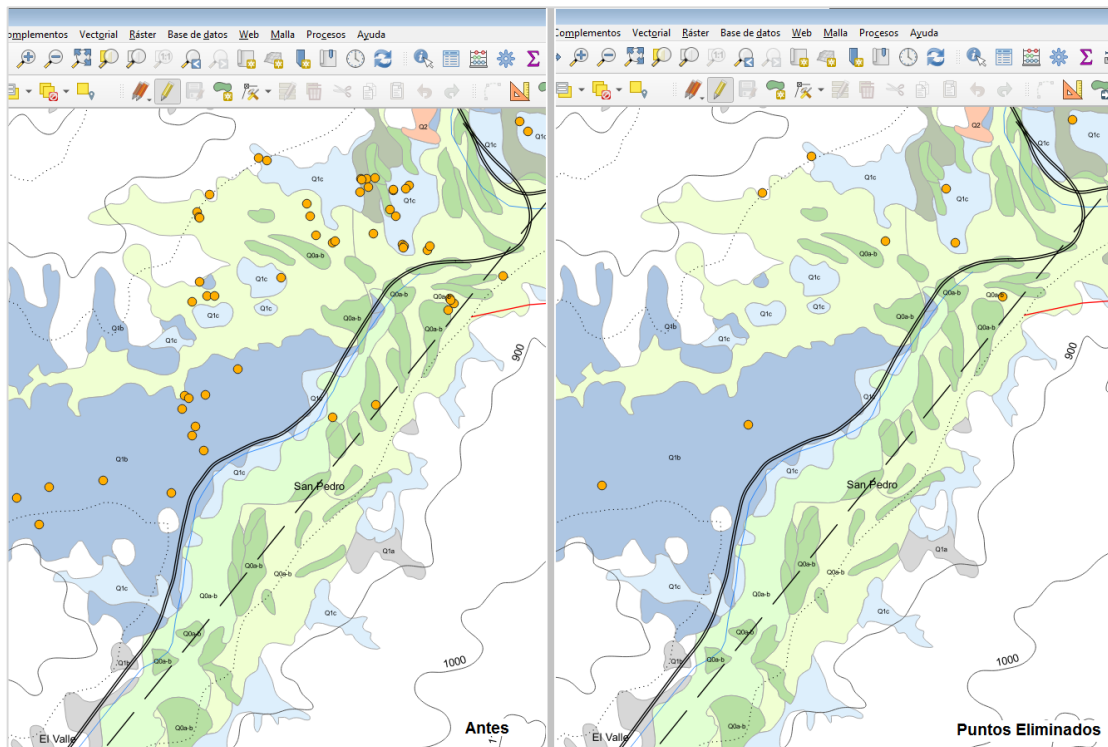


Fig 13. Selección y eliminación de puntos agrupados.

### **III.1.8.2 Respecto al mapa de pendientes**

Al superponer los puntos obtenidos con el mapa de pendientes se pudo constatar que casi la totalidad de puntos están ubicados por debajo de valores de pendiente de 12°.

### **III.1.8.3 Respecto al mapa de registro histórico de arcillas**

Cuando se realizó la superposición de los puntos con las capas vectoriales del registro histórico de arcillas, se puede ver como en estas zonas hay mayor coincidencia y agrupamiento de puntos con el material arcilloso, sin embargo, varias de estas zonas hoy en día están altamente urbanizadas por lo que la adquisición de muestras allí se torna compleja; algunas de estas zonas corresponden a áreas en el centro de la ciudad, particularmente entre Qda. Caraoa y río Catuche. Por otro lado, en sectores como Sarria, Maripérez y Boleíta, donde se describe históricamente extracción de arcillas, no se cuenta con suficientes datos de perforaciones y los pocos que existen no presentan evidencia significativa de este material.

### **III.1.8.4 Distribución de los puntos para muestreo**

Se planteó la siguiente propuesta para el muestreo, donde se redujeron los puntos con posibilidad de muestreo de 93 a 53, seleccionándose entre 10 a 17 puntos por zona, de manera estratégica, utilizando las unidades geológicas, distancia entre los puntos, y la facilidad para acceder al lugar de muestreo. Esta reducción se hizo para reducir costos y tiempo, debido a que los recursos para el estudio eran limitados.

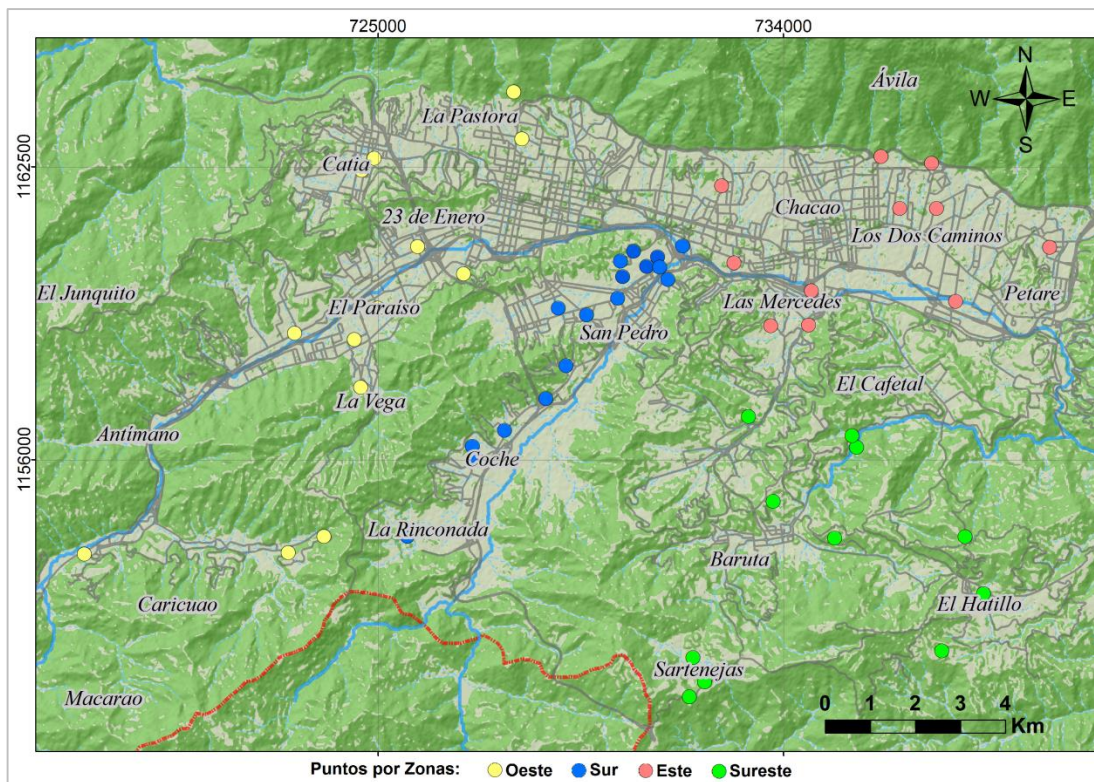


Fig 14. Mapa de ubicación de puntos propuestos de muestreo.

### III.1.8.4.1 Zona Oeste

Tabla 2. Descripción de los puntos en la Zona Oeste.

Nro.	URB.	CALLE	PARCELA	MUN.	ESTRUC.	PROF. (m)	LITOLOGIA	Tope (m)	Base (m)	ZONA
1	El Retiro	Av. Baralt	Puente Ayacucho	Liberador	Vialidad	19	Arcilla limosa mic. Med. Compacta. Marrón y gris amarillento.	0	4	OESTE
2	La Pastora	Av. Baralt	Corte Suprema de Justicia	Liberador	Edificio	30	Arcilla de mediana a alta plasticidad, calcárea, coluvial. Marrón rojizo. Consistente	0	2,5	OESTE
3	Los Flores de Catia	2da. Av. De Nueva Caracas con Calle Chile	Parcela S/N	Liberador	Otro	8	Primeros 50cm, capa vegetal. Arcilla orgánica negruzca de baja plasticidad. 80cm a 5m: arcilla de mediana a alta plasticidad pardo oscuro a amarillo grisáceo. Subyace arcilla de baja plasticidad.	0,5	8	OESTE

<b>4</b>	Pérez Bonalde	Av. Atlántico con Calle La Castellana	Parcela S/N	Liberador	Edificio	25	Arcilla de baja plasticidad gris a marrón con bajo cont. de arena fina.	0	5,6	OESTE
<b>5</b>	Parroquia San Juan	Av. San Martín con Calle El Madero, Sector Los Molinos	Parcela S/N	Liberador	Comercio	25	Primeros 80cm, capa vegetal, arcilla de baja plasticidad con alto contenido de arena, 80cm a 2,5m: arcilla de mediana plasticidad pardo oscuro con alto contenido de arena fina. Subyacente arcilla de alta plasticidad.	0,8	11,5	OESTE
<b>6</b>	El Paraíso	Futura Prolongación Calle Monte Elena	Conjunto Residencial El Paraíso	Liberador	Edificio	29	Suelo residual, arcilla limosa arenosa a muy arenosa fina, mic. Suave, muy friable, marrón rojizo a grisáceo. A 1m (86% pasante 200)	0	2,3	OESTE
<b>7</b>	El Paraíso	Av. Las Mercedes	Parque La Paz, entrada Este	Liberador	Pozo	73	Limo arcilloso	0	5	OESTE
<b>8</b>	La Vega	Calle El Rosario	SE de la cancha, Cementos La Vega	Liberador	Pozo	105	Arcilla	0	22	OESTE
<b>9</b>	Montalbán I	2da Avenida de Montalbán	Uslar, Parque La Pradera	Liberador	Pozo	73	Arcilla	0	5	OESTE
<b>10</b>	Antimano	Av. Intermunicipal de Antimano con Calle Canacit	Parcela S/N	Liberador	Edificio	32	Arcilla limosa, pres. de mat. orgánica; gris oscuro, luego de 1m se hace más arenosa mic.; marrón y gris.	0	2	OESTE
<b>11</b>	Cariacou	Carretera Vieja Ccs - Los Teques	Parcela Nro. 2	Liberador	Urbanismo	9	Arcilla limosa residual, alta plasticidad, muy consistente. Amarillenta	0	2,5	OESTE



<b>12</b>	Cari-cuao	Av. Ppal. de La Hacienda	UD-5	Liber-tador	Edificio	15	Esquisto mic. Desintegrado a meteorizado talcoso arcillo-limoso. Marrón amarillo y gris. 90%(pasante200).	0	15	OESTE
<b>13</b>	Cari-cuao	Av. Princi-pal de La Hacienda	UD-5	Liber-tador	Edificio	16	Esquisto mic. Desintegrado a muy meteorizado arcilloso pres. fragmentos duros, marrón amarillo. Primeros 2m (96% pasante 200).	0	7	OESTE

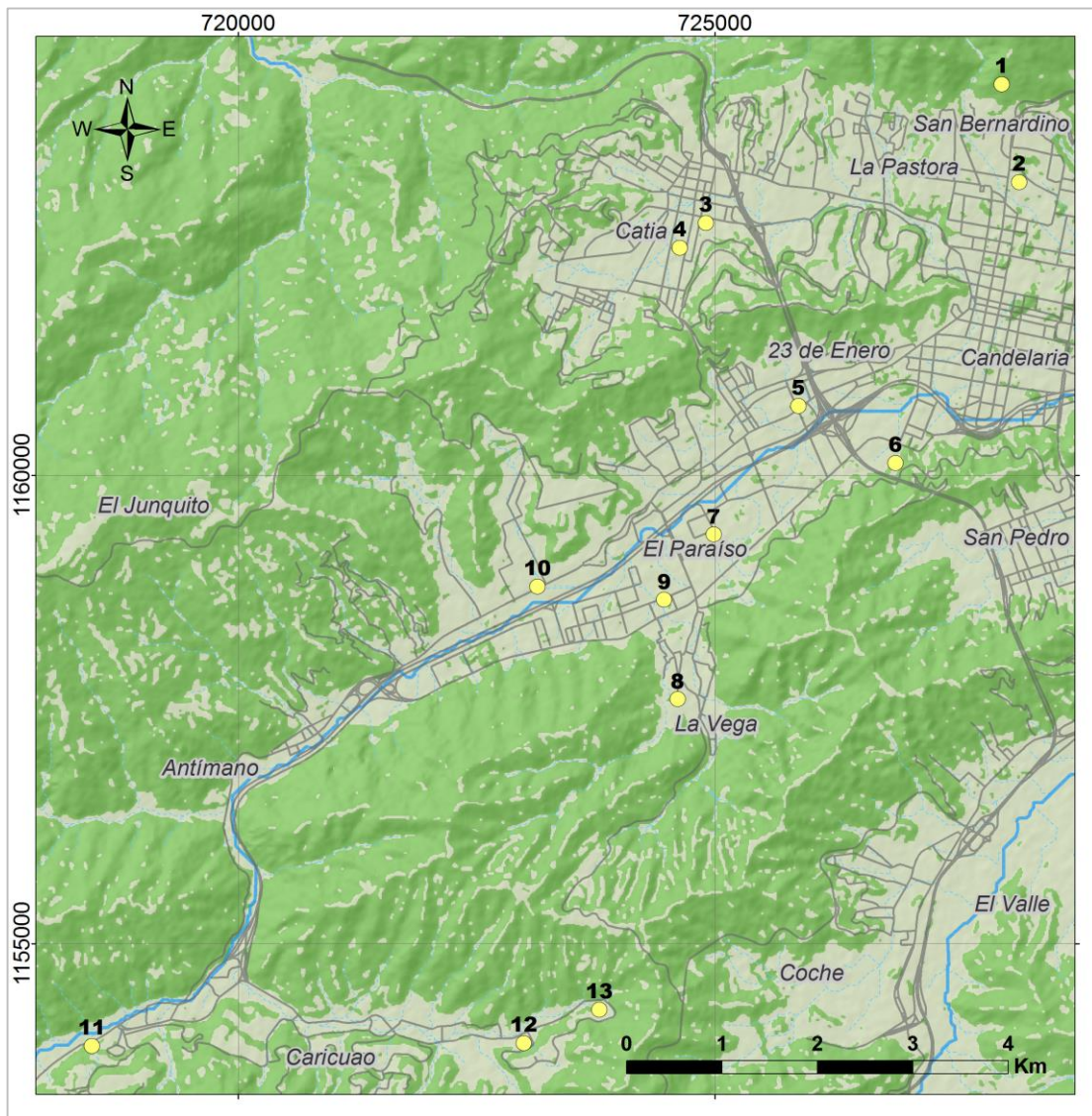


Fig 15. Puntos para muestreo en color amarillo. Zona Oeste.

### III.1.8.4.2 Zona Sur

Tabla 3. Descripción de los puntos en la Zona Sur.

Nro.	URB.	CALLE	PARCELA	MUN.	ESTRUC.	PROF. (m)	LITOLOGIA	Tope (m)	Base (m)	ZONA
1	San Antonio	Calle Olimpo	Tramo Plaza Venezuela - Los Simbolos	Libertador	Metro	27	Arcilla limosa, compacta, marrón, amarillenta y gris, vetas de limo arcilloso mic. a los 3m. 88% (pasante 200).	0	4	SUR
2	Bello Monte	Av. Pricipal de Bello Monte	Edf. Pdvsa	Libertador	Edificio	25	Arcilla limosa de mediana plast. muy arenosa fina y muy fisurada a 1m, cohesiva a 2m, muy dura, homogénea. Marrón claro y grasáceo.	0	2,3	SUR
3	San Antonio	Av. Las Acacias	Tramo Plaza Venezuela - Los Simbolos	Libertador	Metro	26	Arcilla limosa, muy compacta, amarillenta, gris y marrón, pres. de nódulos a partir de 5m. Primeros 4m 87% (pasante 200).	0	8	SUR
4	Los Chaguaramos	Ciudad Universitaria	Humanidades	Libertador	Otro	16	Arcilla de baja plasticidad arenosa (consistencia: arcilla semidura)	0	4	SUR
5	Los Chaguaramos	Ciudad Universitaria	Jardín del balancin	Libertador	Otro	16	Arcilla de baja plasticidad arenosa (consistencia: arcilla dura)	0	2,5	SUR
6	Los Chaguaramos	Ciudad Universitaria	Medicina Tropical	Libertador	Otro	10	Arcilla de baja plasticidad arenosa (consistencia: arcilla dura)	0	2	SUR
7	Los Chaguaramos	Ciudad Universitaria	Parcela S/N (Hospital Clínico)	Libertador	Otro	15	Suelo residual producto de la meteorización del esquistos cuarzo mic. Y filitas mic., se comporta como una arcilla de baja plasticidad. Pardo	0	15	SUR
8	Los Chaguaramos	Ciudad Universitaria	Esc. De Química (Ccias)	Libertador	Otro	13	Arcilla de alta plasticidad (consistencia: arcilla semidura)	0	3	SUR



<b>9</b>	Valle Abajo	Av. Paseo Los Ilustres	Tramo Plaza Venezuela-La Bandera	Libertador	Metro	25	Arcilla limosa, compacta a dura, marrón y amarillenta; ocasionales vetas de limo arcilloso. 99% (pasante 200).	0	23	SUR
<b>10</b>	Los Rosales	Av. Nueva Granada	Parcela S/N	Libertador	Metro	30	Arcilla poco arenosa fina, de mediana plasticidad, dura a tiesa, con grietas filtradas (0-5m). Marrón amarillento, vetas gris y blanco. Subyacen otras arcillas.	0	30	SUR
<b>11</b>	Prado de María	Calle Real de Prados de María	Parcela S/N	Libertador	Metro	20	Arcilla limosa algo arenosa, de alta plasticidad (0-7m), dura, fisurada, con terrones de arena arcillosa, ocasionales fragmentos de cuarzo, aspecto coluvial. Marrón claro y gris claro. Subyacen otras arcillas.	0	20	SUR
<b>12</b>	El Valle	Calle Cajigal	Parcela S/N	Libertador	Metro	20	Arcilla limosa, muy compacta, fragmentos de cuarzo hasta 1m, mat. orgánica a los 3m. primeros 4m 81% (pasante 200).	0	7	SUR
<b>13</b>	El Valle	Av. Interoceanal Del Valle	Parcela S/N	Libertador	Metro	20	Arcilla limosa, muy compacta a dura, pres. de fragmentos de cuarzo y esquisto. Marrón. 80% (pasante 200).	0	3	SUR
<b>14</b>	Los Jardines Del Valle	Av. Interoceanal Del Valle	Tramo El Valle-Coche	Libertador	Metro	23	Arcilla limosa, muy compacta a dura (0 a 5m); marrón rojiza, amarillento y gris, raicillas en el primer metro. Subyacen otras capas de arcillas	0	23	SUR
<b>15</b>	Coche	Calle Los Cedros	Escuela	Libertador	Otro	15	Arcilla limosa mic., Rojiza - amarilla. Consistencia dura.	0	8	SUR
<b>16</b>	Los Jardines Del Valle	Av. Interoceanal Del Valle	Tramo El Valle-Coche	Libertador	Metro	15	Arcilla limosa, dura, amarillenta, gris y rojiza, mat. orgánica carbonizada a los 2m. 95% (pasante 200).	0	2	SUR
<b>17</b>	Coche	Hipódromo La Rinconada	Poliedro	Libertador	Edificio	15	Pavimento asfáltico de 30cm. Arcilla sedimentaria (0,3-2,4m), friable, arenosa muy fina. Marrón grisáceo. Subyacen otras capas de arcillas.	0,3	7,2	SUR

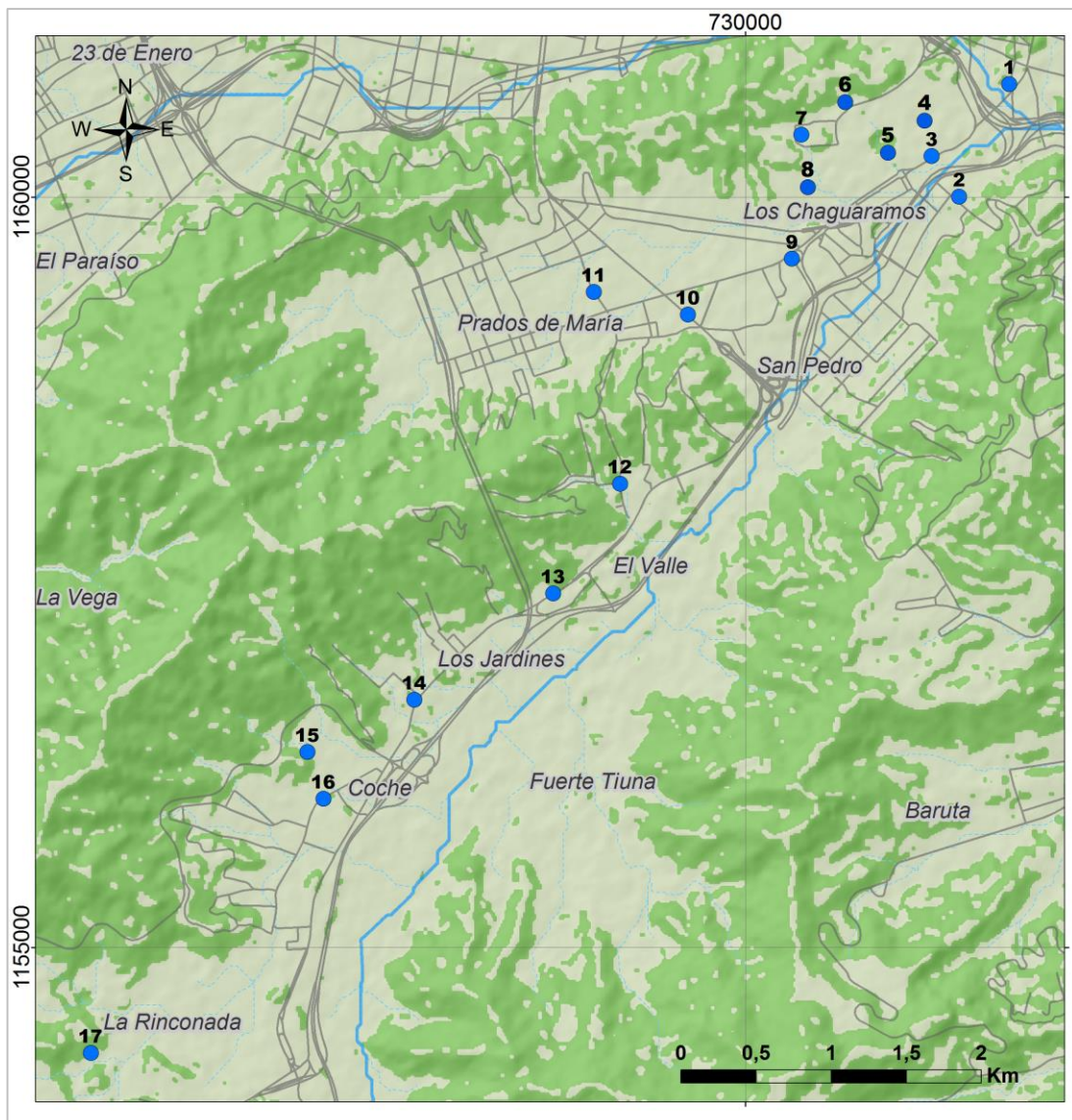


Fig 16. Puntos para muestreo en color azul. Zona Sur.

### III.1.8.4.3 Zona Este

Tabla 4. Descripción de los puntos en la Zona Este.

Nro.	URB.	CALLE	PARCELA	MUN.	ESTRUC.	PROF. (m)	LITOLOGÍA	Tope (m)	Base (m)	ZONA
1	La Florida	Av. Los Pinos	Conjunto Residencial La Lomita	Libertador	Edificio	10,6	Arcilla arenosa de baja plasticidad (0-1,5m), marrón oscuro, con presencia de materia orgánica y arena fina. Subyacen otras capas de arcillas.	0	4,8	ESTE

<b>2</b>	Bello Monte	Av. Baruta	Parcela S/N	Libertador	Edificio	20	Arcilla limosa con fragmentos descompuestos de esquistos, pres. de raicillas, marrón oscuro.	0	3	ESTE
<b>3</b>	Chua	Aut. Francisco Fajardo	Distribuidor Ciempies	Chacao	Vali- dad	15	Arcilla limosa, compacta, marrón - gris. 88% (pasante 200).	0	3	ESTE
<b>4</b>	Las Mercedes	Paseo Enrique Eraso	Hotel Tamana- co	Baruta	Otro	12	Suelo residual, se comporta como una arcilla de baja plasticidad con bajo cont. arena fina.	0	1,8	ESTE
<b>5</b>	Valle Arriba	Calle El Turpial	Marina Mercante	Baruta	Edifi- cio	10	Suelo residual, arcilla limosa, compacta, marrón.	0	1	EST E
<b>6</b>	Los Cortijos de Lourdes	Av. Principal y 2ª Av. Los Cortijos	Instalaciones Inv. Polar C.A.	Sucre	Edificio	25	Arcilla limosa cohesiva, tiesa a blanda, marrón veteadado gris. 98% (pasante 200).	0	2	ESTE
<b>7</b>	Los Chorro	Av. Ppal. Los Chorro	Parcela s/n (C.A.N. T.V )	Sucre	Edificio	29	Arcilla limosa sediment. cohesiva dura a muy friable, marrón rojizo a rojo.	0	2,3	ESTE
<b>8</b>	Santa Eduvigis	3ª Avenida	Parcela S/N	Sucre	Casa	10	Arcilla de mediana plasticidad, marrón rojizo, muy dura.	0	1,5	EST E
<b>9</b>	Altamira	Av. Cota Mil	Distribuidor Altamira	Chacao	Vali- dad	12	Gneis descompuesto blando, arcilla limosa, marrón amarillento y gris. 80% (pasante 200).	0	3	ESTE
<b>10</b>	Sebu- cán	Av. Cota Mil	Parcela S/N	Sucre	Vali- dad	10	Arcilla mic. limo-arenosa (0-4m), puntos locales de materia org. y concreciones de FeO, marrón - rojizo - amarillento. Subyacen otras capas de arcillas.	0	10	ESTE
<b>11</b>	La Urbina	Calles 5 y 7	Parcela Nro. 83-01	Sucre	Edificio	20	Arcilla arenosa, pres. de fragmentos descompuestos blandos de esquistos y gneis, marrón - amarillento.	0	12	ESTE

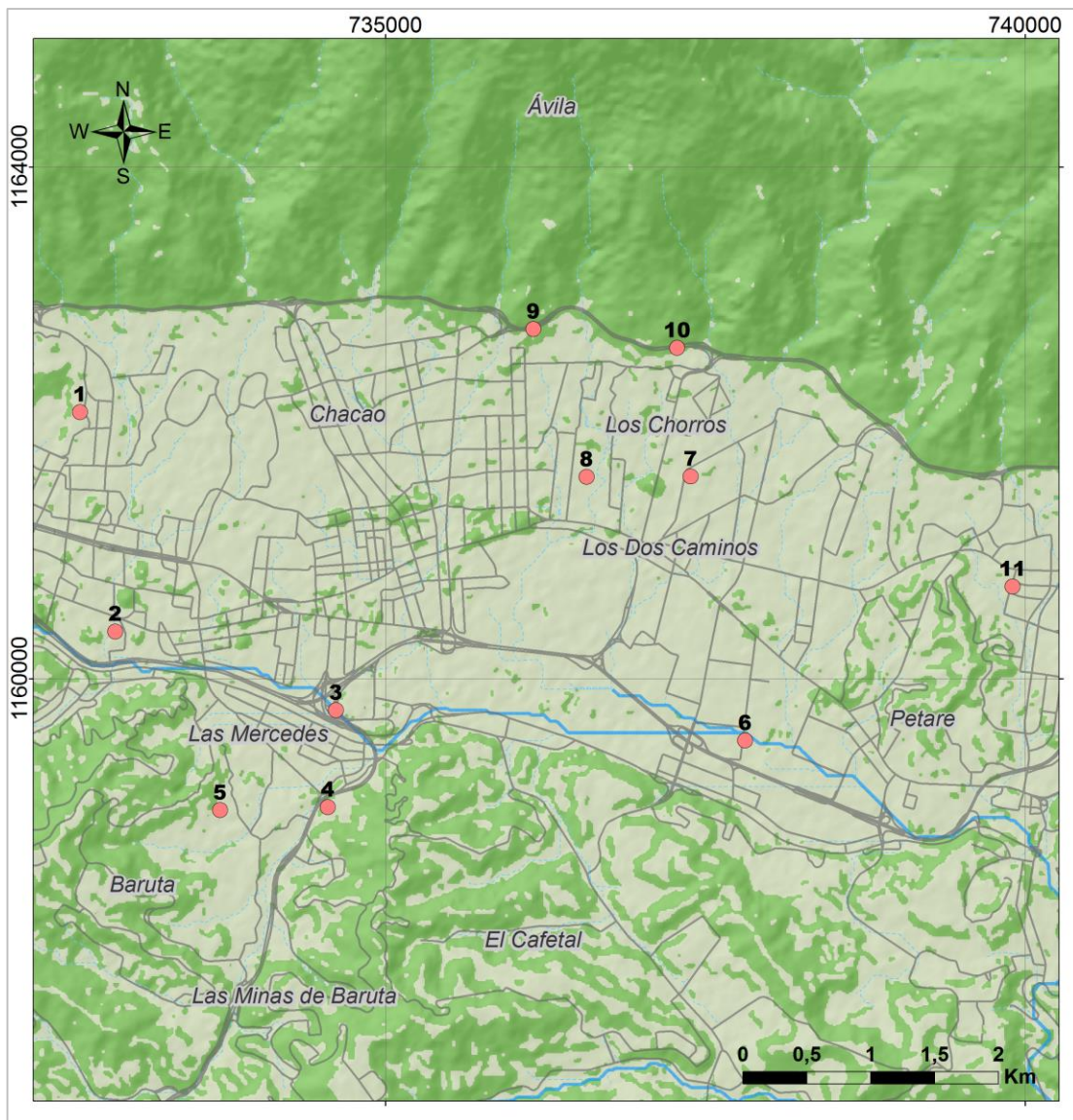


Fig 17. Puntos para muestreo en color rojo. Zona Este.

#### III.1.8.4.4 Zona Sureste

Tabla 5. Descripción de los puntos en la Zona Sureste.

Nro.	URB.	CALLE	PARCE LA	MUN.	ESTRUC.	PROF (m)	LITOLÓGÍA	Tope (m)	Base (m)	ZONA
1	Los Campitos	Av. Los Campitos	Parcela S/N	Baruta	Edificio	10	Suelo residual, arcilla limosa, pres. de esquistos descompuestos, amarillento.	0	2	SURESTE

<b>2</b>	Colinas de La Trinidad	Calle El Tejar	Parcela Nro. 3B-11	Baruta	Casa	4	Suelo residual, Arcilla limosa de baja plasticidad. Rojiza. Subyace filita muy meteorizada.	0	1	SURESTE
<b>3</b>	Cerro Verde	Quebrada La Guairita	Parcela S/N	El Hatillo	Validad	15	Esquisto mic. Descompuesto blando a meteorizado arcillo-limoso, marrón amarillento. 94% (pasante 200).	0	10	SURESTE
<b>4</b>	Colinas del Tamanao	Calle Manzanares	Parcela S/N	Baruta	Validad	15	Esquisto mic. Descompuesto blando arcillo-limoso, marrón - rojizo. 80% (pasante 200).	0	3	SURESTE
<b>5</b>	Las Esmeraldas	Calle Piedras Pintadas	Parcela Nro. 38-E4	Baruta	Edificio	14	Arcilla limosa (0-2m), raicillas en el primer metro, marrón. 87% (pasante 200). Subyace otra capa de arcilla más arenosa.	0	6	SURESTE
<b>6</b>	Alto Hatillo	Calle Los Manantiales	Parcela Nro. 52-b	El Hatillo	Casa	6	Arcilla limosa, pres. de raicillas, marrón. Subyace esquisto mic. arcillo-limoso, descompuesto.	0	1	SURESTE
<b>7</b>	Lagunita Country Club	Av. Principal	E.N. Cono-poima	El Hatillo	Edificio	6	Arcilla limosa, marrón oscuro.	0	3,2	SURESTE
<b>8</b>	Tusmare	Av. Principal de Tusmare	Parcela Nro. 56	El Hatillo	Casa	7	Capa vegetal, arcilla limosa arenosa fina (0-1,2m), raicillas, muy porosa, heterogéneo. Marrón oscuro. Subyace capa de suelo residual arcilloso (1,2-3m).	0	3	SURESTE
<b>9</b>	Sarte-nejas	Universidad Simón Bolívar	Parcela S/N	Baruta	Edificio	35	Arcilla arenosa fina mic. (0-3m), con poquísimo de grueso. Parda. Subyacen otras capas de arcillas.	0	12	SURESTE
<b>10</b>	Monte Elena	Calle San Antonio	Parcela Nro. 12	Baruta	Casa	10	Arcilla limo-arenosa, marrón - amarillento y gris (0-2m). Subyace otra capa de arcilla más arenosa mic.	0	3	SURESTE
<b>11</b>	Sarte-nejas	Vía de acceso Parque Tecnológico (U.S.B)	Parcela S/N (Instalaciones de Digitel)	Baruta	Validad	10	Filita micácea grafitosa, muy descompuesta blanda fracturada, vetas de cuarzo, disgregada en limo poco arenoso fino de mediana plasticidad. Marrón amarillento. 84% (pasante 200).	0	5	SURESTE



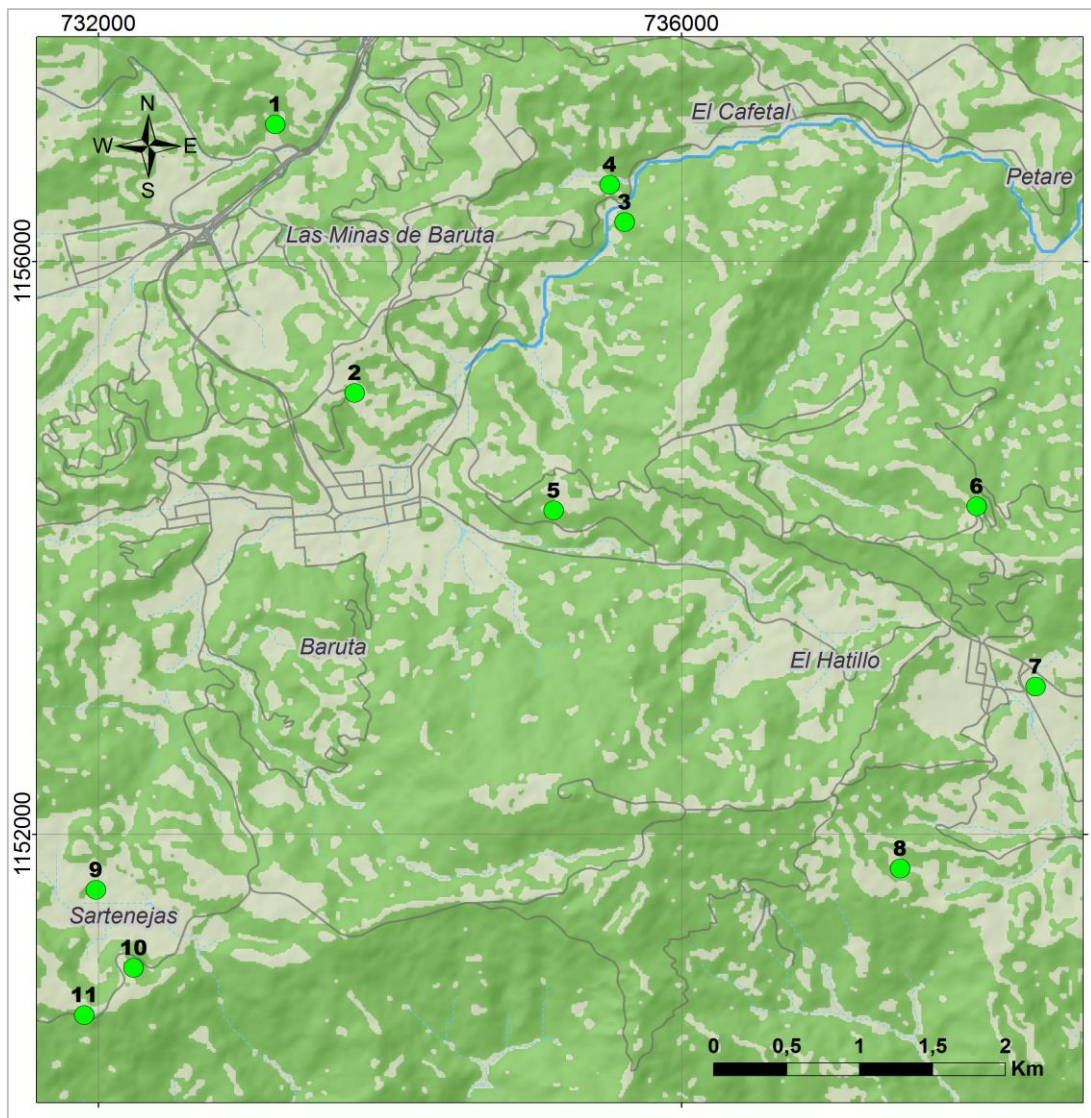


Fig 18. Puntos para muestreo en color verde. Zona Sureste.

### III.1.8.5 Coordenadas de los puntos para muestreo

Tabla 6. Coordenadas de los puntos en cada una de las zonas para muestreo

Nro.	NORTE	ESTE	ZONA
1	1164169,6777	728004,0314	OESTE
2	1163126,7489	728185,6107	
3	1162692,1165	724903,1024	

4	1162424,7579	724628,7526	
5	1160735,7661	725871,7104	
6	1160127,6551	726891,0983	
7	1159364,8815	724984,9191	
8	1157608,8781	724605,9148	
9	1158668,8809	724464,9166	
10	1158810,1616	723138,7765	
11	1153906,8960	718467,5339	
12	1153938,2152	722995,1281	
13	1154295,8915	723786,6069	
1	1160751,1410	731756,1901	SUR
2	1160002,5686	731422,6522	
3	1160273,3839	731239,4689	
4	1160507,4490	731193,1900	
5	1160293,8140	730948,5590	
6	1160631,6500	730665,3040	
7	1160414,1783	730370,3275	
8	1160063,2830	730415,0000	
9	1159588,4858	730307,5074	
10	1159217,2467	729616,4082	
11	1159366,4736	728990,1447	
12	1158088,3936	729164,2102	
13	1157359,8177	728718,1860	
14	1156649,6259	727794,8820	
15	1156302,2294	727084,2838	
16	1155992,0093	727189,1296	
17	1154297,2292	725641,0821	
1	1162083,4937	732611,3118	ESTE
2	1160367,4796	732886,5519	
3	1159754,5830	734611,3394	
4	1158994,3663	734547,0031	
5	1158973,7392	733705,8400	
6	1159516,1930	737808,0011	

7	1161581,5474	737384,0562	
8	1161578,3633	736569,9756	
9	1162731,4830	736152,7036	
10	1162584,3924	737276,5872	
11	1160718,4371	739898,5749	
1	1156955,8455	733211,8761	SURESTE
2	1155079,1812	733756,7254	
3	1156274,3248	735609,2428	
4	1156533,7647	735507,4210	
5	1154260,0689	735123,9449	
6	1154289,3775	738024,2980	
7	1153029,3367	738429,4027	
8	1151760,4119	737500,9182	
9	1151611,2296	731983,2955	
10	1151066,3236	732241,3585	
11	1150736,0499	731902,3571	

## III.2 Etapa de recolección de muestras

### III.2.1 Introducción

La metodología que fue usada en este trabajo está basada en el *Manual de Geoquímica de Muestreo del Instituto Colombiano de Geología y Minería* (INGEOMINAS, 2011), que tiene como objetivo principal servir de guía para la selección de los sitios de muestreo, toma y preparación de muestras de suelos, aguas y sedimentos finos, activos de corriente en muestreos de Baja, Media y Alta Densidad (BMAD), de acuerdo a las normas y metodologías internacionales recomendadas por el *Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP) proyecto 259/360* y las orientaciones para muestreo geoquímico de los servicios geológicos europeos (SALMINEN,



TARVAINEN, DEMETRIADES, DURIS & FORDYCE, 1998), en su publicación *Geochemical Mapping Field Manual*.

El manual es aplicado a cuencas de drenaje cuya área de captación sean menores a 100 km<sup>2</sup>, coincidiendo con las condiciones de las cuencas hidrográficas de la zona de estudio.

Ciertas especificaciones del Manual fueron adaptadas y modificadas debido a las características particulares de la investigación, y de las condiciones del área de estudio.

Las muestras que se recolectaron son en su mayoría de depósitos cuaternarios de naturaleza arcillosa, suelos residuales o sedentarios.

### **III.2.2 Materiales y equipos**

- Bolsas plásticas para muestras de suelos (material libre de metales), capacidad de 3 kg.
- Guantes desechables (1 por muestra) o guantes de caucho.
- Muestreador (cilíndrico o pala) (material libre de metales). Se utilizó un barreno que tiene eficiencia de extracción de 25cm y un brazo de 1,5m.
- Pala o cuchara de plástico.
- Medidor métrico plegable de madera o plástico, de 2m de longitud (material libre de metales).
- Marcadores de tinta indeleble (preferiblemente de color negro o azul).
- Cajas plásticas para transporte de muestras.
- Mapas (mapas topográficos, se utilizaron mapas a escala 1:25.000).
- Elementos para trabajo geológico (brújula, GPS, martillo, lupa).
- Cámara fotográfica.
- Cinta de enmascarar para sellar las bolsas de muestreo.
- Etiquetas para identificación de muestras.

- Libreta para anotaciones de campo.

### **III.2.3 Etiquetado de las muestras**

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

SEXX-SUA-XXX donde;

- SEXX: 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 (001, 002, etc.).

### **III.2.4 Procedimiento**

A continuación, se describirán los pasos utilizados durante la recolección de las muestras.

#### **III.2.4.1 Selección del sitio de muestreo**

- Se trató de ubicar con la mayor precisión los puntos previamente cartografiados que se seleccionaron en las bases de datos de perforaciones. Para esto se generó un set de mapas de cada uno de los sitios a visitar.

### **III.2.4.2 Etiquetado de las muestras y notaciones previas**

- Se colocó el identificador de la muestra en la bolsa plástica de muestreo, usando un marcador de tinta indeleble.
- Nota: se recomienda marcar el número identificador de la muestra sobre el mapa, cerca del punto de localización del muestreo.
- Se realizaron los detalles descriptivos del sitio de muestreo y de la muestra, se tomaron las coordenadas geográficas y anotaron en las planillas previamente impresas.

### **III.2.4.3 Muestreo**

- Se cavaron apiques (perforación similar a una calicata, pero más pequeña) en los sitios seleccionados, y se realizaron los detalles descriptivos de los horizontes del suelo.
- Se retiró la vegetación superficial (capa orgánica viva), el litter fresco, las raíces grandes y los fragmentos de rocas.
- 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 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 al manual, se recomienda que la sección a extraer contenga un espesor de 25cm aproximadamente.
- Se obtuvo aproximadamente 1 kg de sedimentos por cada muestra.
- La muestra obtenida se colocó en la bolsa de muestreo, y se amarró con un nudo, para evitar contaminación cruzada durante el transporte.

- La etiqueta de la bolsa se recubrió con cinta plástica transparente para evitar que la misma se borrara.

#### **III.2.4.4 Fotografías**

Por lo menos dos fotografías de cada sitio de muestreo fueron tomadas:

- La primera para mostrar el paisaje en las cercanías del sitio de muestreo.
- La segunda para mostrar las características de la capa orgánica y de los horizontes del suelo en cada uno de los apiques de muestreo.

#### **III.2.5 Precauciones Generales**

- Utilizar instrumentos en materiales plásticos o de madera sin pintar, o en su defecto usar herramientas en acero inoxidable, pero no de aluminio o latón, para evitar posibles contaminaciones con metales.
- Utilizar guantes desechables, para manipular las muestras, o guantes de cuero.
- Emplear recipientes para recolectar las muestras, que estén hechos de materiales que no contengan metales (bolsas y recipientes plásticos nuevos).

### III.2.6 Parámetros geológicos a describir en Campo

1. Información General			
<i>Tipo muestras tomadas</i>			
Fecha .....	Agua	<input type="checkbox"/>	<b>Escala de trabajo</b>
N.º Plancha Igac .....	Suelo	<input type="checkbox"/>	1:100000 <input type="checkbox"/>
N.º Celda .....	Sedimento	<input type="checkbox"/>	1:500000 <input type="checkbox"/>
N.º Subcelda .....	Roca	<input type="checkbox"/>	Otra .....
N.º IGM .....	Sedimento de sobrerbanca	<input type="checkbox"/>	<b>Duplicado</b>
	Sedimento Floodplain	<input type="checkbox"/>	Celda <input type="checkbox"/>
	Concentrado batea	<input type="checkbox"/>	Sitio muestreo <input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>	<b>Responsable</b>
			Institución/empresa .....
			Persona .....

Fig 19. A) Formulario de captura de datos de campo. Información General (INGEOMINAS, 2011).

2. Localización del punto de muestreo			
Departamento .....	Cuenca principal .....	N.º Rollo .....	
Municipio .....	Cuenca muestreada .....	N.º Foto .....	
Vereda .....	Margen muestreada	Izq. <input type="checkbox"/>	
		Der. <input type="checkbox"/>	
<b>Coordenadas geográficas:</b>	<b>Coordenadas planas</b>	<b>Coordenadas planas corregidas:</b>	
Latitud Grad. <input type="checkbox"/> Min. <input type="checkbox"/> Seg. <input type="checkbox"/>	Norte .....	Norte .....	
Longitud Grad. <input type="checkbox"/> Min. <input type="checkbox"/> Seg. <input type="checkbox"/>	Este .....	Este .....	
Método de determinación del punto de muestreo:	<b>Altitud (m)</b> .....	<b>Origen coord. planas</b>	
	Medida con:	Bogotá <input type="checkbox"/>	
GPS <input type="checkbox"/>	GPS <input type="checkbox"/>	Este centro <input type="checkbox"/>	
Plancha <input type="checkbox"/>	Altimetro <input type="checkbox"/>	Este Este <input type="checkbox"/>	
Otros <input type="checkbox"/>	Plancha <input type="checkbox"/>	Oeste <input type="checkbox"/>	

Fig 20. B) Formulario de captura de datos de campo. Localización del punto de muestreo (INGEOMINAS, 2011).

3. Descripción del sitio de muestreo		
<b>3.1. Clima de la cuenca:</b>	<b>3.2. Paisaje:</b>	<b>3.3. Usos del suelo:</b>
Cálido árido	<input type="checkbox"/> Altiplanicie, Altillanura	<input type="checkbox"/> Asentamientos e infraestructura <input type="checkbox"/>
Cálido semiárido	<input type="checkbox"/> Lomerío	<input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/>
Cálido húmedo	<input type="checkbox"/> Montana	<input type="checkbox"/> Ganadería <input type="checkbox"/>
Cálido pluvial	<input type="checkbox"/> Peniplanicie, Penillanura	<input type="checkbox"/> Forestal <input type="checkbox"/>
Medio pluvial	<input type="checkbox"/> Piedemonte	<input type="checkbox"/> Agroforestería <input type="checkbox"/>
Frío seco	<input type="checkbox"/> Planicie	<input type="checkbox"/> Conservación <input type="checkbox"/>
Frío húmedo	<input type="checkbox"/> Llanura	<input type="checkbox"/> Sin uso agropecuario <input type="checkbox"/>
Frío pluvial	<input type="checkbox"/> Valle	<input type="checkbox"/> Reserva hídrica <input type="checkbox"/>
Muy frío seco	<input type="checkbox"/> <b>3.4. Fuentes de contaminación:</b>	Industria <input type="checkbox"/>
Muy frío húmedo	<input type="checkbox"/> Desconocida	Otros ¿Cuáles? _____
Muy frío pluvial	<input type="checkbox"/> Agricultura	<b>3.5. Vegetación</b>
Extrem/frío, húmedo y muy húmedo	<input type="checkbox"/> Industria	<input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/>
Extrem/frío, pluvial	<input type="checkbox"/> Aguas servidas	<input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/>
Subnival, muy húmedo	<input type="checkbox"/> Transporte	<input type="checkbox"/> Pastos y rastrojos <input type="checkbox"/>
<b>3.6. Profundidad del río (m):</b> _____	Ganadería	<b>3.10. Pendiente del lecho</b>
<b>3.7. Ancho del río (m):</b> _____	Minería	<input type="checkbox"/> <5
<b>3.8. Tamaño de la cuenca (Km2)</b> _____	Otra _____	<input type="checkbox"/> 25-20
<b>3.12. Estado del tiempo</b>	<b>3.9. Flujo/nivel</b>	<input type="checkbox"/> 20-40
Seco <input type="checkbox"/> Lluvioso <input type="checkbox"/>	Seco	<input type="checkbox"/> >40
<b>3.13. Afloramientos rocosos en el sitio de muestreo</b>	Normal	<b>3.11. Velocidad del agua</b>
No hay <input type="checkbox"/> Sí hay <input type="checkbox"/>	Crecido	<input type="checkbox"/> Rápida <input type="checkbox"/>
¿Cuáles? _____	Intermitente	<input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/>
_____	<b>3.14. Litología predominante en la cuenca</b>	<input type="checkbox"/> Lenta <input type="checkbox"/>
_____	Ígneas	<input type="checkbox"/> Estacionaria <input type="checkbox"/>
_____	¿Cuál? _____	<b>3.15. Presencia de mineralizaciones</b>
	Magmática o intrusiva	<input type="checkbox"/> Minas <input type="checkbox"/>
	¿Cuál? _____	<input type="checkbox"/> Explotación artesanal <input type="checkbox"/>
	Efusiva	Otra <input type="checkbox"/>
	¿Cuál? _____	¿Cuál? _____
	Sedimentarias	
	¿Cuál? _____	
	Metamórficas	
	¿Cuál? _____	
<b>4. Observaciones</b>		

Fig 21. C) Formulario de captura de datos de campo. Descripción del sitio de muestreo (INGEOMINAS, 2011).

5.3. Horizonte C		
Profundidad (cm): .....	N.º de submuestras: .....	<b>Humedad:</b>
Color .....		Muy húmedo <input type="checkbox"/>
Cod. tabla Münsell .....		Húmedo <input type="checkbox"/>
		Poco húmedo <input type="checkbox"/>
		Seco <input type="checkbox"/>
<b>Textura:</b>	<b>Abundancia de clastos (%):</b>	<b>Estructura del suelo</b>
Arenosa <input type="checkbox"/>	0-2 <input type="checkbox"/>	Fibrosa <input type="checkbox"/>
Franco arenosa <input type="checkbox"/>	2-5 <input type="checkbox"/>	Prismática <input type="checkbox"/>
Franca <input type="checkbox"/>	5-15 <input type="checkbox"/>	Columnar <input type="checkbox"/>
Franco limosa <input type="checkbox"/>	15-40 <input type="checkbox"/>	Blocosa angular <input type="checkbox"/>
Limosa <input type="checkbox"/>	40-80 <input type="checkbox"/>	Blocosa subangular <input type="checkbox"/>
Franco arcillosa <input type="checkbox"/>	>80 <input type="checkbox"/>	Laminar <input type="checkbox"/>
Limo-arcillosa <input type="checkbox"/>		Granular <input type="checkbox"/>
Areno-arcillosa <input type="checkbox"/>	<b>Contenido orgánico</b>	Migajosa <input type="checkbox"/>
Arcillo-arenosa <input type="checkbox"/>	Bajo <input type="checkbox"/>	Cúbica <input type="checkbox"/>
Arcillo-limosa <input type="checkbox"/>	Medio <input type="checkbox"/>	Masiva <input type="checkbox"/>
Arcillosa <input type="checkbox"/>	Alto <input type="checkbox"/>	
Observaciones		

Fig 22. D) Formulario de captura de datos de campo. Datos de campo para Suelos (INGEOMINAS, 2011).

7. Muestra profunda - Complemento descripción perfil			
7.1. Intervalo de perfil muestreado (cm)			
<b>7.2. Composición %:</b>	<b>7.3. Forma:</b>	<b>7.4. Tamaño de partícula</b>	<b>7.5. Humedad</b>
Cuarzo <input type="checkbox"/>	Angulosa <input type="checkbox"/>	Arcilla <input type="checkbox"/>	Muy húmedo <input type="checkbox"/>
Feldespato <input type="checkbox"/>	Subangular <input type="checkbox"/>	Limo <input type="checkbox"/>	Húmedo <input type="checkbox"/>
Fragmentos líticos <input type="checkbox"/>	Subredondeados <input type="checkbox"/>	Arena fina <input type="checkbox"/>	Poco húmedo <input type="checkbox"/>
Otro .....	Redondeado <input type="checkbox"/>	Arena media <input type="checkbox"/>	Seco <input type="checkbox"/>
	Bien redondeado <input type="checkbox"/>	Arena gruesa <input type="checkbox"/>	

Fig 23. E) Formulario de captura de datos de campo. Datos de campo para Sedimentos de llanura de inundación (INGEOMINAS, 2011).

### III.2.7 Técnica y procedimiento para reconocer arcillas o material arcilloso en campo

Uno de los métodos utilizados más sencillos consiste en saber la plasticidad de la arcilla, de acuerdo a HERNÁNDEZ & HERNÁNDEZ (2015), basta con hacer una sencilla prueba de la muestra blanda y húmeda extraída, se debe formar un pequeño cordón e intentar enrollarlo alrededor de nuestro dedo e interpretar los siguientes resultados:

- A)** No tiene cohesión suficiente para formar un cordón. No es arcilla.
- B)** El cordón se rompe al enrollarlo en torno al dedo; muy bajo contenido en arcilla.
- C)** Se producen grietas profundas en el cordón al enrollarlo. Arcilla gruesa, arenisca, de baja plasticidad.
- D)** Grietas pequeñas y poco profundas. Buena arcilla, útil y plástica.
- E)** El cordón se enrolla con facilidad y presenta una superficie lisa y brillante. Arcilla de grano fino, muy plástica. Arcilla grasa.

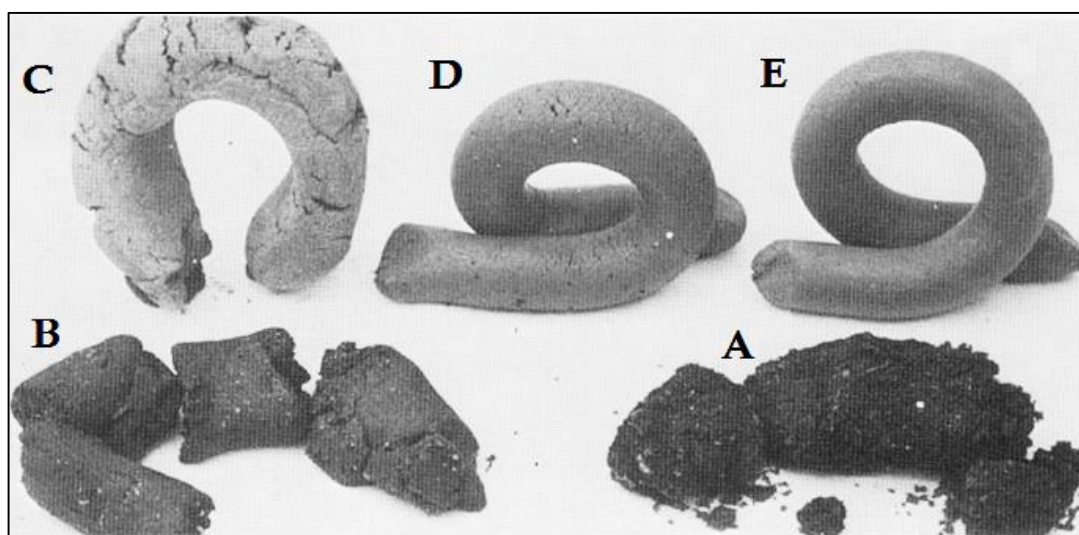


Fig 24. Ensayo de reconocimiento de arcillas (HERNÁNDEZ & HERNÁNDEZ, 2015).

De ésta manera, se obtuvo un primer indicio rápido y práctico de la consistencia del suelo en las zonas visitadas. Éstas observaciones fueron descritas en las planillas de datos de campo, y también puede visualizarse en la (tabla 11).



### III.3 Etapa de laboratorio

A través de la etapa de recolección en campo se lograron recuperar un total de 32 muestras, las cuales fueron sometidas a química de difracción de rayos X para determinar la composición mineralógica presente en cada una de éstas.

Para esta etapa, se realizó una preparación previa de las muestras, como se describe a continuación:

#### III.3.1 Secado al aire libre

Cada una de las muestras fueron colocadas en hojas de papel limpias previamente etiquetadas, se dejaron al aire libre alrededor de 3 días.



Foto 1. Secado al aire libre.

### III.3.2 Tamizado

En esta fase, se utilizaron los siguientes implementos:

- Tamices números (5, 10, 18, 35, 60, 120, 230, Bandeja).
- Se utilizó un tambor vibratorio, brochas para la limpieza de los tamices, bandejas para el pesado de los sedimentos y bolsas.

Procedimiento:

- Pesado de la muestra.
- Tamizado: colocación de la muestra en el tambor vibratorio durante 8 minutos haciéndola pasar por todo el juego de tamices seleccionados.



Foto 2. Tambor vibratorio y juego de tamices.

- Pesado de la fracción de sedimentos retenidos en cada tamiz.
- Llenado de tabla granulométrica con los datos obtenidos.

- Para fines del estudio, se etiquetó y separó en bolsas los sedimentos (finos) pasantes del tamiz Nro. 230 ( $\Phi 4$ ) con la finalidad de elevar la concentración de minerales tipo arcilla.

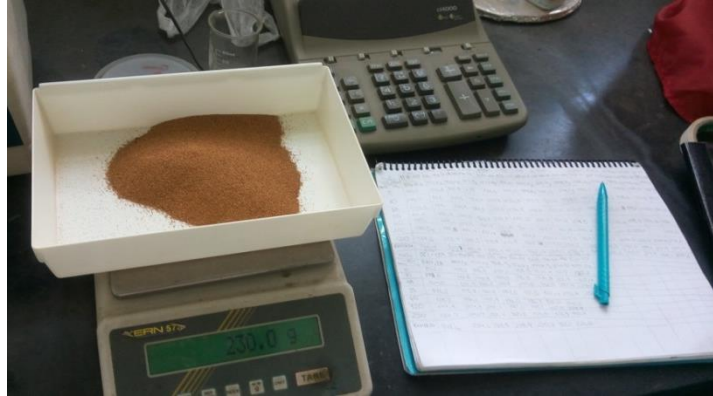


Foto 3. Peso, bandeja, sedimentos y tabla de notaciones.

### III.3.3 Pulverizado

Implementos:

- Equipo de molienda de la marca *Shatterbox*, morteros o cápsula con discos y cilindro de carburo de tungsteno.



Foto 4. Equipo de molienda marca *Shatterbox*.

- Alcohol, toallas de papel absorbente y cuarzo de veta (limpio) para la limpieza del mortero tras cada muestra pulverizada.
- Bolsas de plástico.

Con los sedimentos separados (pasante tamiz 230), de cada una de las muestras se procedió al pulverizado de la siguiente manera:

- Limpieza del mortero con alcohol y toallas de papel absorbente para eliminar residuos de sedimentos de muestras anteriores.
- Pulverizado con pequeños fragmentos de cuarzo (10-20gr aprox.) durante 30-40 segundos con la finalidad de impregnar el mortero de este mineral común.
- Segunda limpieza con alcohol y toallas de papel absorbente.
- Pulverizado con una pequeña cantidad de la muestra a estudiar (10-20gr. aprox.), 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 (20gr aprox.) durante 30 segundos.
- Se etiqueta y embolsa el polvo obtenido, para luego volver a repetir el procedimiento con las demás muestras.



Foto 5. Insumos de limpieza y cilindro de carburo de tungsteno.

### III.3.4 Difracción de rayos X

Implementos:

- Difractómetro *Philips*.
- Generador de rayos X: PW 3830.
- Goniómetro modelo *Step Scanning*: PW 3020
- Detector de rayos X: PW 1711/90
- Tubo de Cu
- Porta muestras de Aluminio especiales para difracción de rayos X
- Vidrios (27 x 46 mm).
- Papel absorbente y alcohol.
- Lápiz de grafito.

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 de manera que luego pueda ser borrada con facilidad.

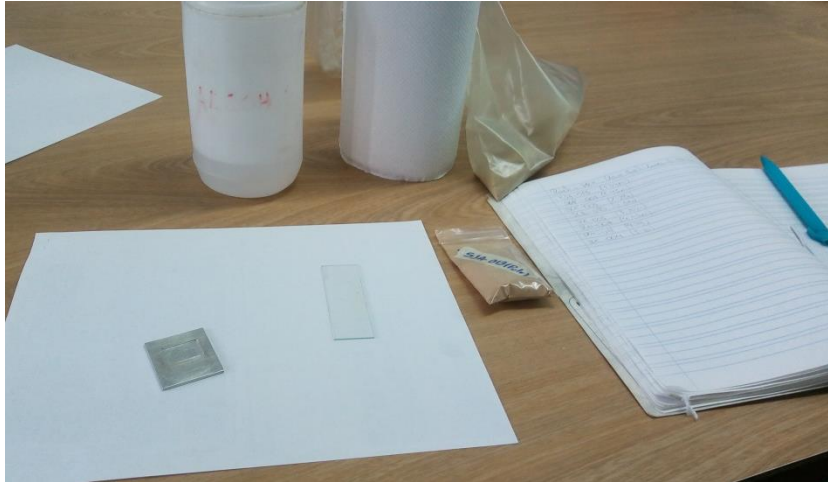


Foto 6. Porta muestra de aluminio, vidrio e insumos de limpieza.

- Se agrega el polvo previamente pulverizado (pasante tamiz 230, obtenido en el procedimiento anterior) al porta muestra.
- Se distribuye y compacta la muestra en la superficie de la placa con el vidrio hasta obtener una superficie lisa y homogénea.



Foto 7. Muestras preparadas para DRX.



- De esta manera la muestra queda lista para ser analizada en el difractor por lo que se ajustan las condiciones de la corrida a los siguientes parámetros: (aplicación: barrido total)
  - Intervalo de barrido  $2\theta$ :  $5^\circ - 75^\circ$
  - Tipo de montura: desorientada
  - Tiempo total: 00:30min
  - Generador de rayos X: 40kV 30mA



Foto 8. Equipo de difracción de rayos X marca *Phillips*.

### III.4 Etapa de oficina

#### III.4.1 Generación de base de datos, tablas y mapas temáticos

A través de la revisión y selección de puntos de interés en la etapa inicial de este trabajo, se generó una base de datos en la cual se incluyen los resultados obtenidos en la etapa de laboratorio. La base de datos se realizó por medio del programa *Excel*; también se generaron diversas tablas

y mapas temáticos, como se describe en la etapa de revisión y análisis bibliográfico.

#### **III.4.2 Reporte de la información obtenida en campo**

La información descrita en las planillas de campo (anexo C), se plasmó en tablas en *Excel* (tablas 9,10 y 11), donde se describen las principales características de las muestras recopiladas, coordenadas, y otros detalles.

#### **III.4.3 Análisis de difractogramas**

El análisis de los difractogramas (anexo E) se realizó con ayuda del programa *X'Pert HighScore Plus*, el cual incluye una biblioteca con miles de especies minerales y otros compuestos químicos. Se identificaron los patrones presentes e hizo una rápida comparación de los picos de la muestra con los de la biblioteca de manera automatizada para luego realizar una selección manual.

#### **III.4.4 Generación de mapas geológicos a escala 1:25.000 con los registros de minerales de arcillas obtenidos en la investigación**

Por medio de las versiones vectoriales de los mapas geológicos a escala 1:25.000 de cordillera de la costa (URBANI & RODRÍGUEZ, 2004) y la última actualización en la zona de estudio (SÁNCHEZ, 2019), se generaron una serie de mapas geológicos con la información mineralógica y textural de arcillas, obtenida durante este estudio.

Se trabajó con los parámetros de proyección y edición utilizados por SÁNCHEZ (2019), siendo estos mapas la base para el plasmado de la nueva información obtenida de la zona.



En total, se generaron 14 hojas que se nombran a continuación. Estos mapas pueden visualizarse en el (anexo F).

- HOJA-6747-II-NE (El Junquito)
- HOJA-6747-II-NO (Petaquire)
- HOJA-6747-II-SE (Los Teques)
- HOJA-6747-II-SO (Agua Fría)
- HOJA-6747-I-SE (Carayaca)
- HOJA-6847-III-NE (Petare)
- HOJA-6847-III-NO (El Valle)
- HOJA-6847-III-SE (Turgua)
- HOJA-6847-III-SO (San Antonio de Los Altos)
- HOJA-6847-II-NO (Mampote)
- HOJA-6847-II-SO (El Nogal)
- HOJA-6847-I-SO (Curupao)
- HOJA-6847-IV-SE (Los Chorros)
- HOJA-6847-IV-SO (Caracas)

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **IV.1 Resultados obtenidos de la fase inicial de recopilación y análisis bibliográfico**

En la etapa inicial de este trabajo, se realizó el análisis de diversos trabajos académicos, revisión de bases de datos, documentos históricos, y otros escritos.

Toda la información recopilada, se organizó y filtró para generar una base de datos con la información pertinente a la ubicación de material arcilloso, donde se incluye: ubicación con las coordenadas, descripciones litológicas, índices de plasticidad, mineralogía, entre otros.

Se generaron varios mapas temáticos donde se puede apreciar una primera impresión de las zonas potencialmente arcillosas desde el punto de vista textural, como primer indicio para la posterior caracterización mineralógica (anexo A).

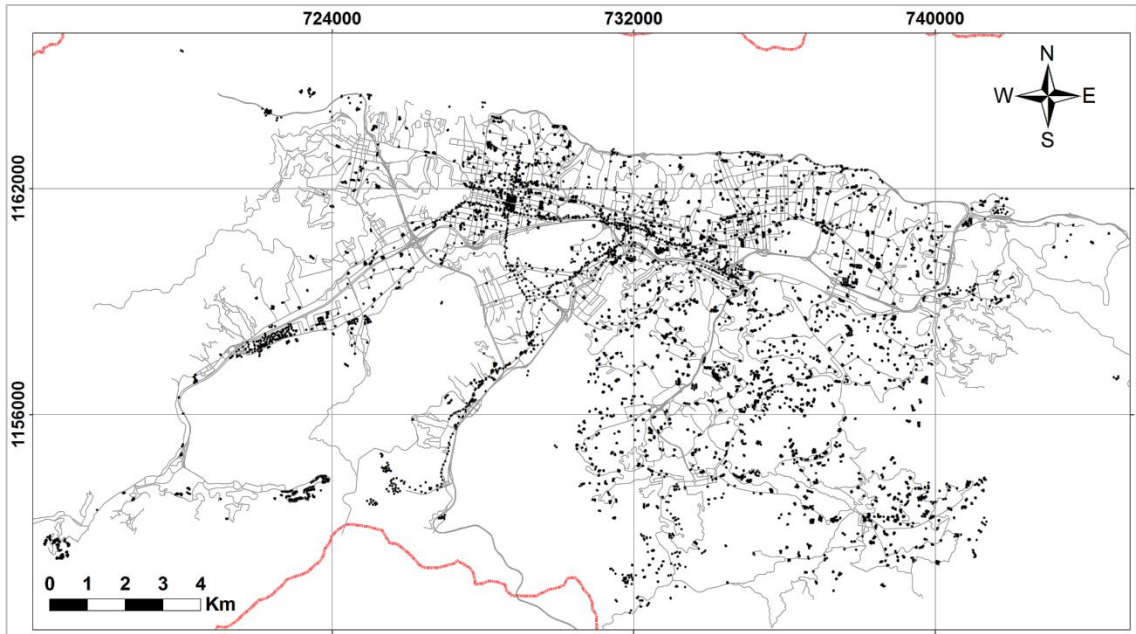


Fig 25. Mapa con el total de puntos de perforaciones revisados, alrededor de 8 mil datos.

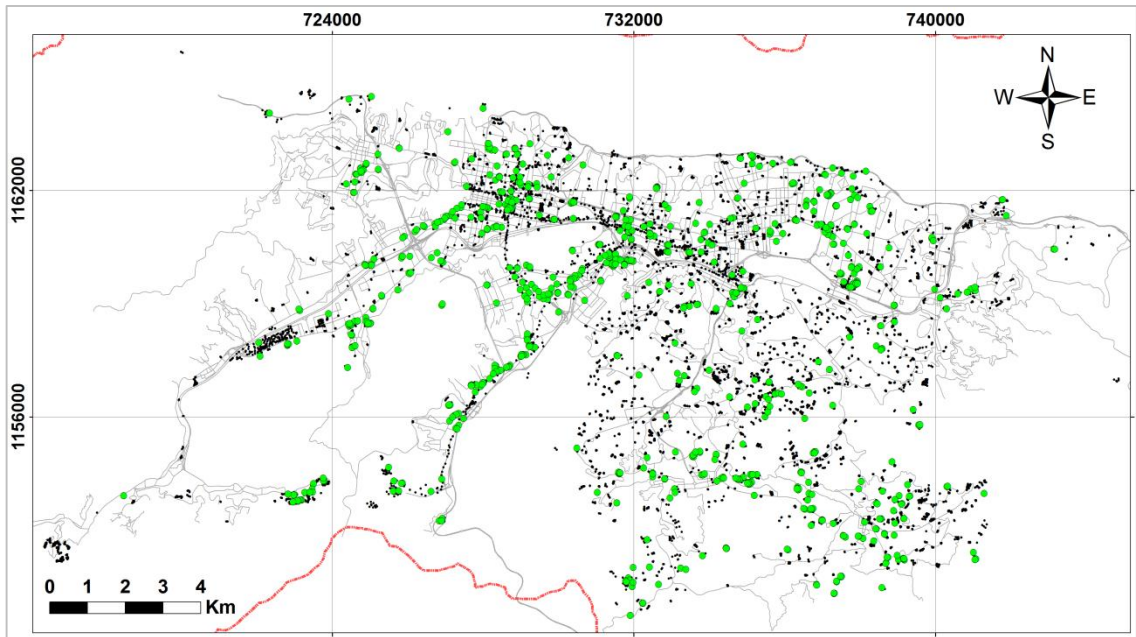


Fig 26. En color verde, los puntos donde se observa material fino (variaciones entre arcillas, limos y arenas finas).

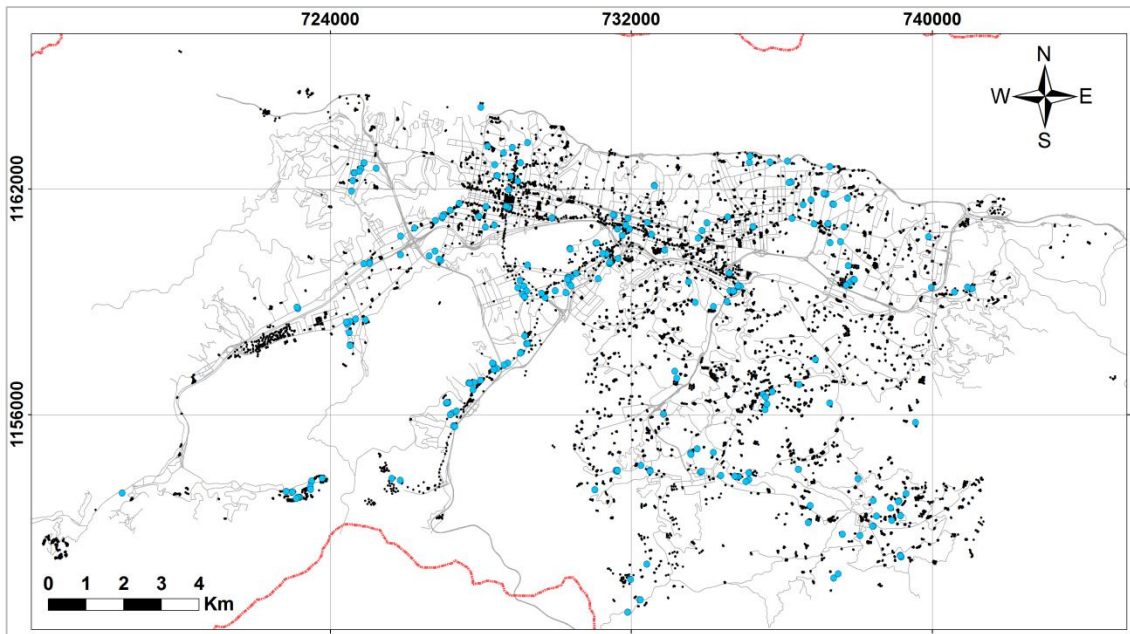


Fig 27. En color azul, los puntos con porcentajes importantes de material arcilloso.

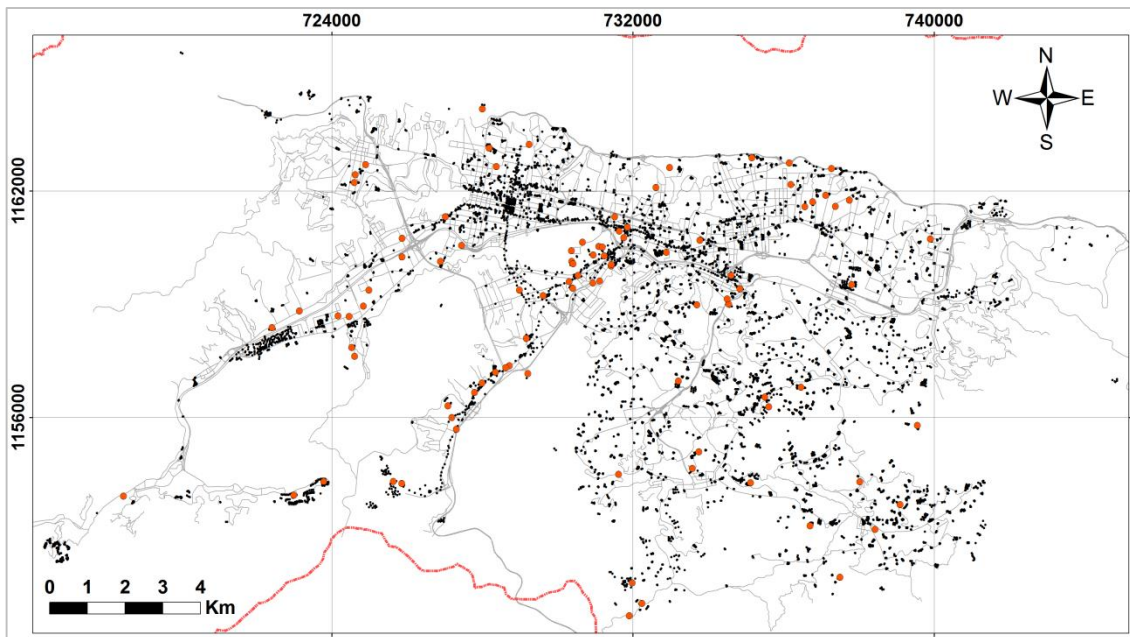


Fig 28. Se observan en color naranja, los puntos con posibilidad de muestreo.

Entre estos mapas, también se realizó uno de clasificación de pendientes y un mapa de registro histórico con ubicaciones relativas tomadas de documentos históricos y algunos trabajos académicos.



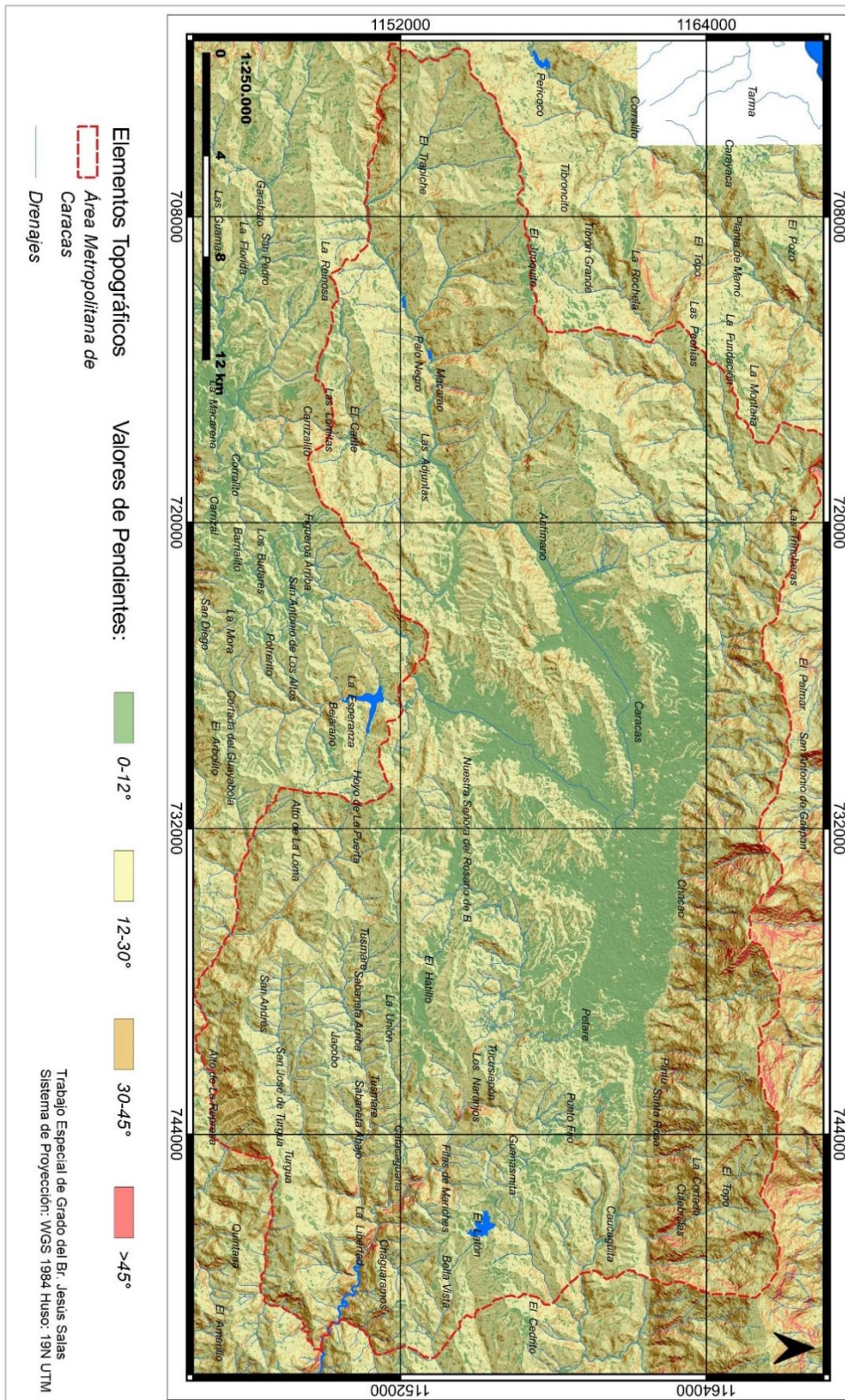


Fig 29. Mapa de pendientes del área de estudio.

Tabla 7. Registro histórico de la bibliografía obtenida.

N°	Autor citado	Regis-tro	Fuente o usos	Posible Litología	Ubicación relativa	Descripciones
1	Autor Desc. El primer documento detallado disponible sobre la geología de Caracas y las "Rocas, Formaciones Y Terrenos" (1916).	Histórico geológico	Solo Descriptivo	Material fino	Planicie de inundación del río Guaire	Depósitos fluviales
2				Material fino	Oeste de Catia	Depósitos lacustres
3				"arcillas" lacustres	Al pie de las colinas del sur de la ciudad contra el Esquisto Las Mercedes	"arcillas" lacustres
5	Extracto del plano de Juan Vicente Bolívar, 1772. Modificado de (AMODIO, NAVARRETE & RODRÍGUEZ, 1997).	Histórico	Extraían arcillas, para la fabricación de cerámicas y tejas	cuerpos arcillosos	La ciudad colonial era rodeada además de grederas, en <b>vega del Guaire o de las quebradas. Uno de los sitios es la actual Esquina de Curamichate.</b>	Se extraían arcillas de la vega del Guaire o de las quebradas para la fabricación de cerámicas y tejas, y que luego eran convertidas en basurero y/o en porqueriza para el relleno de las mismas.
6	SINGER (1977)	Histórico	Probablemente algunas de las primeras fábricas artesanales de Caracas	Material fino	Sarria y Maripérez	Estos materiales probablemente se extrajeron de los niveles más finos de los abanicos de explayamiento del Pleistoceno inferior Q3.
7	VALERY (1978)	Histórico	Antiguas industrias de tejerías y alfarerías	Material fino	Esquinas de Tejerías (actual Esquina Guayabal, entre las quebradas Caroata y Catucho, entre las esquinas Sordo y Regeneración. Vega aluvial del Guaire)	Sitios de alfarerías y tejerías, algunos ubicados en la vega aluvial del río Guaire y otros en pleno casco urbano
8					Horno Negro	
9					Hoyo Vicioso	
10					El Tejar	
11					esquina de Camejo	
12	GARCÍA DE LA CONCHA, (1962)	Histórico	Antiguas industrias de tejerías y alfarerías	cuerpos arcillosos	El Cementerio	Según el autor allí encontraban "buen cacaíto", nombre local dado por los caraqueños a la <b>arcilla</b> recomendada para obtener obras de buena calidad.
13					Rincón del Valle	
14					Catia	
15	Trabajo de FREILE (s.f.)		instalacion es de fábricas de ladrillo (arcilla)	cuerpos arcillosos	El Valle ( Hacienda Santo Domingo)	
según STACCIOLI (1947), pese a existir gran número de cuerpos arcillosos, en Caracas no existían yacimientos de arcilla con los volúmenes suficientes para alimentar una fábrica de alta producción						

16	STACCIOLI (1947)	Histórico	Se explotaron yacimientos de arcilla	cuerpos arcillosos	La Hacienda La Vega (carretera vieja de Los Teques)	
17					Hacienda La Ciénaga (el Hatillo)	
18					Boleíta (el más extenso)	
19	MANZANO (1951).	Histórico Estudio geológico	La primera alfarería mecánica, a finales del siglo XIX	cuerpos arcillosos	Hato de Cúpira (Catia)	Su principal función era producir adoboncitos, tejas y panelas para la construcción de Santa Inés y del Palacio de Miraflores, ambos pertenecientes al General Joaquín Crespo.
20			Alfarería	cuerpos arcillosos	Cercana a la Laguna de Catia	Imponente alfarería mecánica que existía en Catia llamada "Compañía Anónima, ALFARERÍA y CALERÍA". Una fotografía tomada de la revista bimensual "El Cojo Ilustrado" en su edición del 15 de Marzo de 1893, corresponde probablemente a la industria alfarera mencionada por Manzano.
21	MUÑOZ & SINGER (1977)	Histórico. Estudio geológico	Solo Descriptivo	Sedimentos limo-arcillosos	Depresión lacustre de El Cementerio (Prado de María-San Pedro)	Se ha observado en corte y en perforaciones espesores de más de 10 m de sedimentos limo-arcillosos varvados con binomios de colores litocromos anaranjado-marrón claro.
22				Depósitos lacustrinos	En dirección del río Valle, entre San Pedro y La Bandera	Los depósitos lacustrinos se encuentran cortados en terraza por el entallamiento del drenaje previamente al desarrollo de la batea aluvial holocena.



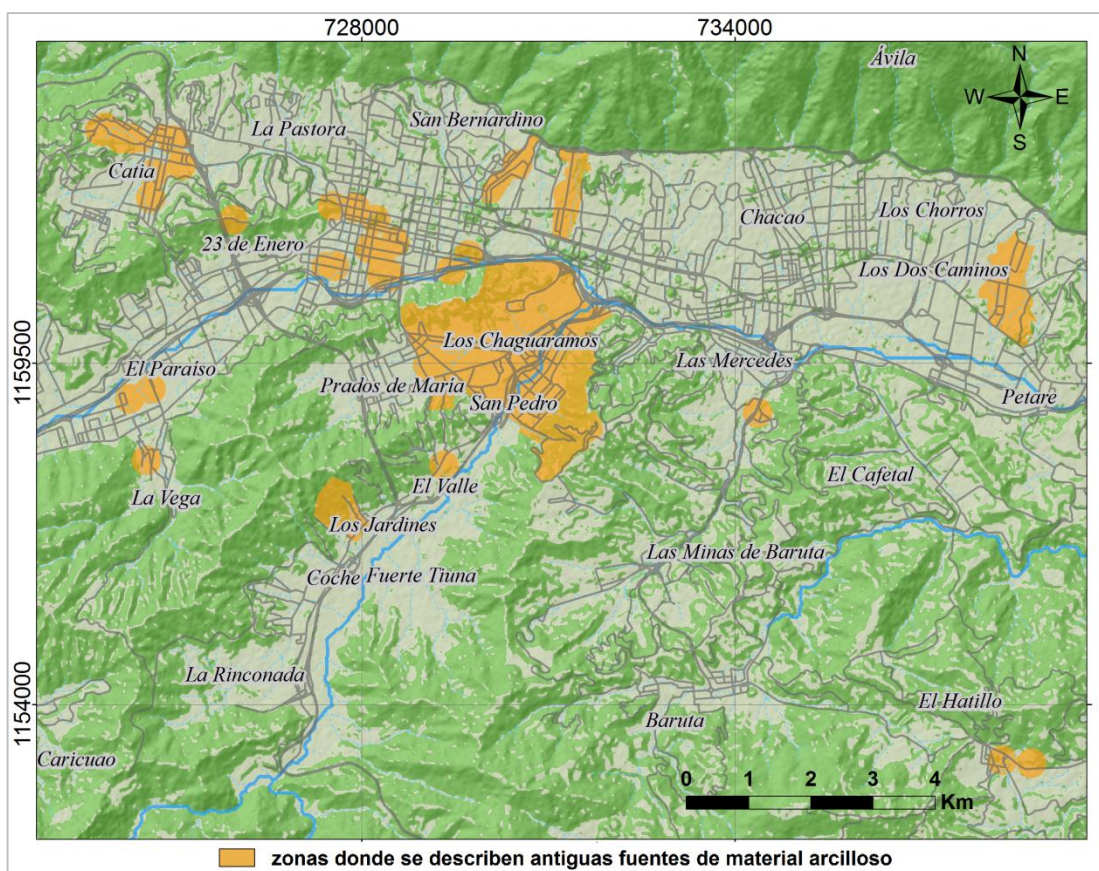


Fig 30. Mapa del registro histórico de antiguas fuentes de material arcilloso.

Tabla 8. Mineralogía por DRX y ubicaciones relativas. Recuperado de Investi

N°	IDinvesti	Ubicación Relativa	Mineralogía DRX	Glicolado	Cocinado (550 C°)	Tratamiento en HCl	IdAtlas
1	20	Caracas - Los Teques	antigorita, talco, clorita, cuarzo, illita				AACCS33
2	20A	Caracas - Los Teques	antigorita, talco, cuarzo, illita				AACCS34
3	21	Caracas - Los Teques	illita, feldespato				AACCS35
4	23	Caracas - Los Teques	illita, caolinita, cuarzo				AACCS36
5	24	Caracas - Los Teques	illita, cuarzo, feldespato,				AACCS37



6	25	Caracas - Los Teques	illita, vermiculita, cuarzo, feldespato	No expansiva			AACCS38
7	26	Caracas - Los Teques	illita, caolinita, cuarzo, feldespato				AACCS39
8	27	Caracas - Los Teques	illita, caolinita, feldespato, goetita, cuarzo				AACCS40
9	28	Caracas - Los Teques	illita, caolinita, cuarzo, feldespato				AACCS41
10	32	Caracas - Los Teques (intersección- Los Teques - La Cortada)	illita, caolinita, feldespato, cuarzo				AACCS42
11	33	Caracas - Los Teques	illita, caolinita, feldespato, cuarzo				AACCS43
12	34	Carrizal- La Cortada	illita, caolinita, feldespato, cuarzo				AACCS44
13	35	Carrizal- La Cortada	illita, caolinita, feldespato, cuarzo				AACCS45
14	36	San Diego- La Cortada	illita, caolinita, feldespato, cuarzo				AACCS46
15	37	La Cortada del Guayabo	illita, feldespato				AACCS47
16	38	Turmerito (cerca de La Mariposa)	calcita, dolomita, cuarzo, illita				AACCS48
17	39	Caracas - Santa Lucía	illita, calcita, feldespato, caolinita, vermiculita, cuarzo	No expansiva	colapsa a 10 Å		AACCS49
18	40	Caracas - Santa Lucía	illita, caolinita, feldespato, cuarzo				AACCS50
19	41	Caracas - Santa Lucía	caolinita, illita, cuarzo, feldespato				AACCS51
20	42	Caracas - Santa Lucía	Illita, caolinita, vermiculita-mont, feldespato, cuarzo	Expansiva	colapsa a 10 Å		AACCS52

21	43	Caracas - Santa Lucía	illita, caolinita, feldespato, cuarzo				AACCS53
22	44	Caracas - Santa Lucía	vermiculita, illita, feldespato, goetita, cuarzo	No expansiva			AACCS54
23	58	Hoyo de La Puerta ( ± 300m al E del Cruce)	calcita, illita, feldespato, clorita, cuarzo				AACCS55
24	66B	Cantera Las Marías	cuarzo, calcita, caolinita, illita, óxido de hierro				AACCS56
25	85A	Antímano Ist (cantera de "Cementos La Vega")	calcita, cuarzo, feldespato			cuarzo, feldespato, mica	AACCS57
26	85B	Antímano Ist (cantera de "Cementos La Vega")	calcita, dolomita, cuarzo			cuarzo, feldespato, illita	AACCS58
27	85C	Antímano Ist (cantera de "Cementos La Vega")	calcita, dolomita, cuarzo			cuarzo, feldespato, mica	AACCS59
28	86C	El Cafetal - El Hatillo	halloysita, gibbsita				AACCS60
29	87	El Cafetal - El Hatillo	caolinita, goetita				AACCS61

## IV.2 Resultados obtenidos de la etapa de muestreo de campo

En esta etapa, se obtuvieron los siguientes resultados respecto a las zonas visitadas; aquellas donde se logró recuperar muestra y las que no se lograron visitar.

Tabla 9. Reporte de puntos visitados.

Zona	Nro	Visitado	Recuperación de Muestra	Observación
OESTE	1	NO		Se descartó la zona por la baja posibilidad de tener arcillas y la dificultad que implicaba hacer el muestreo.
	2	NO		Se descartó la zona por la baja posibilidad de tener arcillas y la dificultad que implicaba hacer el muestreo.

	3	SI	NO	No se pudo acceder, por estar cerrada la zona donde se tenía que muestrear (Iglesia Jesucristo de los Últimos Días).
	4	SI	SI	
	5	SI	NO	Zona de muestreo completamente inundada.
	6	SI	SI	
	7	SI	SI	
	8	NO		Por razones de seguridad. Zona de peligro (sector La Vega).
	9	SI	NO	No se pudo acceder, por estar cerrada la zona donde se tenía que muestrear. (Parque Uslar, Montalbán).
	10	NO		
	11	SI	NO	Zona de muestreo completamente pavimentada.
	12	SI	SI	
	13	SI	SI	
SUR	1	SI	SI	
	2	SI	SI	
	3	SI	SI	
	4	SI	SI	
	5	SI	SI	
	6	SI	SI	

	7	SI	SI	
	8	SI	NO	No se pudo acceder a la zona de muestreo (Fac. de Ciencias UCV), había que esperar permisos, por limitaciones de tiempo y disponibilidad de vehículo no se podía esperar.
	9	SI	SI	
	10	SI	SI	
	11	SI	SI	
	12	SI	NO	No se pudo acceder, había que esperar permisos de la directiva, no se podía esperar por razones de tiempo y disponibilidad de vehículo (Centro de Rehabilitación Padre Machado).
	13	SI	SI	
	14	SI	NO	Se decidió no realizar muestreo por presumir que la zona estaría cubierta por un gran espesor de material de relleno.
	15	SI	SI	
	16	SI	SI	
	17	SI	NO	Zona de muestreo completamente inundada.
<b>ESTE</b>	1	SI	NO	No se obtuvo permiso para acceder a la zona de muestreo (Conjunto Residencial La Lomita).
	2	SI	SI	
	3	SI	NO	No se pudo recuperar muestra debido a los grandes espesores de material de relleno y movimientos de terreno.

	4	SI	NO	No se pudo acceder, había que esperar permisos de la administración, no se podía esperar por razones de tiempo y disponibilidad de vehículo (Hotel Tamanaco).
	5	SI	SI	
	6	SI	NO	No se pudo acceder, por estar cerrada la zona donde se tenía que muestrear. (Coca-Cola FEMSA de Venezuela).
	7	SI	SI	
	8	SI	SI	
	9	SI	SI	
	10	NO		Se descartó por falta de tiempo para cubrir esta zona y dificultad para hacer el muestreo
	11	SI	SI	
<b>SURESTE</b>	1	SI	NO	No se pudo acceder, había que esperar permisos de la administración, no se podía esperar por razones de tiempo y disponibilidad de vehículo (Antiguo Directv Sport Park).
	2	SI	SI	
	3	SI	NO	Zona de muestreo de muy difícil acceso, por razones de tiempo no se pudo acceder.
	4	SI	SI	
	5	SI	SI	
	6	SI	SI	
	7	SI	SI	

8	SI	SI	
9	SI	NO	No se pudo acceder a la zona de muestreo (USB), había que esperar permisos, por razones de tiempo y disponibilidad de vehículo no se podía esperar.
10	SI	NO	No se pudo acceder a la zona de muestreo (Urb. Monte Elena), había que esperar permisos, por razones de tiempo y disponibilidad de vehículo no se podía esperar.
11	SI	SI	
<b>TOTAL: 52</b>			
TOTAL VISITADOS: 47 DE 52			
TOTAL MUESTREADOS: 31			
11 ZONAS ESTABAN CERRADAS O HABÍA QUE SOLICITAR PERMISOS			
5 ZONAS ESTABAN INUNDADAS, PAVIMENTADAS O CON ESPESORES MUY GRANDES DE RELLENO			
5 ZONAS NO SE VISITARON POR RAZONES DE TIEMPO, BAJO POTENCIAL O DIFICULTAD PARA MUESTREAR			

Tabla 10. Coordenadas y ubicación de los sitios muestreados en campo.

Zona	Nro	Etiqueta	Coord N	Coord E	Altura (m)	Localización
<b>OESTE</b>	4	OPB-SUB-004	1162449	724621	963	PLAZA PÉREZ BONALDE
	6	ORP-SUB-006	1160095	726902	914	RES. PARAÍSO
	7	OPA-SUB-007	1159379	724992	882	PARQUE LA PAZ
	7	OPA-SUB-007-D	1159356	724992	918	PARQUE LA PAZ
	12	OCA-SUB-012	1153878	722954	1016	UD5-BLOQUE 35
	13	OCA-SUB-013	1154285	723838	1051	UD5-BLOQUE 14-13

SUR	1	SBP-SUB-001	1160794	731724	837	BOMBEROS ZONA RENTAL	
	2	SUB-SUB-002	1160051	731432	878	UBV ESTACIONAMIENTO	
	3	SUC-SUB-003	1160280	731233	877	ESTE DEL EDF. LABORATORIOS DE QUIMICA FAC. ING. UCV	
	4	SUC-SUB-004	1160505	731195	835	AL OESTE ESC. DE ESTUDIOS POLÍTICOS UCV	
	5	SUC-SUB-005	1160287	730939	868	AL NORTE DE CLINICA JURÍDICA UCV	
	6	SUC-SUB-006	1160642	730629	852	MEDICINA TROPICAL UCV	
	7	SCU-SUB-007	1160486	730423	864	HOSP. CLÍNICO UNIVERSITARIO UCV	
	9	SPL-SUB-009	1159515	730364	839	PASEO LOS ILUSTRES. CERCANO A LA REDOMA LOS SÍMBOLOS	
	10	SLB-SUB-010	1159261	729753	897	AV. LOS LAURELES, NOROESTE DEL METRO LA BANDERA	
	11	SPM-SUC-011	1159371	728988	872	CERCANO A LA IGLESIA. PARROQUIA LA MILAGROSA	
	13	SJA-SUB-013	1157362	728720	916	U.E. JOSÉ ÁVALOS	
	15	SJM-SUB-015	1156321	727040	948	DETRÁS DEL COLEGIO JESÚS MUÑOZ	
	16	SGB-SUC-016	1155997	727183	933	AV. GUZMÁN BLANCO. FRENTE A RESIDENCIAS VENEZUELA	
	ESTE	2	ECH-SUB-002	1160359	732878	865	ANTIGUA FERIA DE CHACAITO
		5	ELM-SUB-005	1158969	733708	888	CALLE EL TURPIAL. LAS MERCEDES
		7	ECA-SUC-007	1161578	737390	918	COMUNA APAJUANA
8		EPS-SUB-008	1161629	736576	891	PARQUE STA. EDUVIGIS	
9		EPG-SUC-009	1162747	736227	982	LOS PALOS GRANDES. CERCA DE LA COTA MIL	
11		ELA-SUB-011	1160737	739895	891	LA URBINA. A MEDIA CUADRA DE WENDYS	

<b>SURESTE</b>	2	SEP-SUC-002	1155098	733770	1054	CALLE LOS PEÑONES
	4	SEC-SUB-004	1156619	735513	936	U.E. JARDIN VIVENCIAL CANDIL
	5	SEA-SUC-005	1154417	735161	1099	LICEO LOS ARCOS
	6	SEU-SUC-006	1154265	738036	1304	CALLE UNIÓN
	7	SEC-SUC-007	1153007	738439	1157	U.E.N. CONOPOIMA
	8	SET-SUB-008- R	1151582	737427	1184	URB. TUSMARE
	11	SEU-SUB-011	1150736	731914	1241	UNETI. SARTENEJAS

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 11. Observaciones y reportes de los sitios donde se recuperó muestra.

Zona	Etiqueta	Prof. Intervalo del muestreo (cm)	Descripción en campo	Plasticidad <i>in situ</i>	Observaciones
<b>OESTE</b>	OPB-SUB-004	30-40	Se observan raíces en los primeros 20cm, presencia de frag. de esquistos muscovíticos cuarcíticos. Fragmentos de cuarcita. Se sospecha material de relleno.	B	
	ORP-SUB-006	30-40	Muestra en talud 30° por corte de carretera. Primeros 15 cm abundantes hojas y raíces, presencia de clastos entre 1-7cm, clastos de esquistos muscovítico cuarzoso. Sedimentos marrón parduzco.	C	
	OPA-SUB-007	30-50	Primeros 15 cm abundantes hojas y raicillas, suelo homogéneo. Marrón oscuro.	D	



	OPA-SUB-007-D	20-40	Primeros 15 cm abundantes hojas y raicillas, suelo homogéneo. Marrón parduzco.	D	
	OCA-SUB-012	25-40	Primeros 15cm abundantes clastos de esquisto de 1-2cm, luego de los 25cm los clastos son más pequeños. Se observa una elevada meteorización. Naranja- marrón.	C	
	OCA-SUB-013	35-45	En superficie se observan huellas de desecación. Primeros 15 cm, material de relleno. Abundantes fragmentos de esquistos altamente meteorizados de 2-5 cm, a mayor profundidad se observa mayor contenido de grafito en el esquisto y fragmentos de filita. Sedimento color marrón.	D	
SUR	SBP-SUB-001	30-45	En los primeros 10cm grandes clastos de esquisto micáceo (2-5cm). Relleno. Luego de los 15cm, clastos más pequeños. Color del sedimento marrón rojizo.	C	
	SUB-SUB-002	35-45	Muestra tomada en isla de baja altura en el estacionamiento. Primeros 20cm relleno. Clastos de 1-5 mm. Luego de los 25cm suelo <i>in situ</i> , altamente meteorizado de color rojizo a naranja.	C	
	SUC-SUB-003	45-55	Capa vegetal de 10cm, presencia de clastos de esquisto micáceo de color gris, se observan lentes de limo/arcilla. Alta meteorización. Sedimento color naranja.	C	
	SUC-SUB-004	50-65	Gran cantidad de hojas en superficie y raíces hasta los 40cm, fragmentos de cuarcita y esquisto altamente meteorizado (1-3cm). Color de los sedimentos marrón rojizo.	D	
	SUC-SUB-005	50-65	Primeros 25cm material de relleno. Capa HA color marrón. Cambia a color naranja- rojizo a los 40 cm HB, presencia de clastos pequeños, esquisto y cuarzo.	B	Se aleja varios metros de la zona de muestreo original (Balancines de Ing, UCV) pues luego de haber excavado más de 60cm solo había material de relleno "piedra picada" mezclada con arenas.

SUC-SUB-006	35-45	Pequeño afloramiento por corte. Suelo marrón oscuro con abundantes raicillas y fragmentos de esquistos (1-2cm) en los primeros 20cm. Color más naranja y abundantes óxidos con clastos más pequeños luego de los 30cm.	B	El punto de muestreo se aleja varios metros del dato original, debido a que no fue posible extraer muestra de allí por la gran profundidad del material de relleno ("piedra picada" mezclada con arenas), luego de haber excavado más de 50 cm aún no se conseguía el suelo <i>in situ</i> .
SCU-SUB-007	30-40	Muestra tomada en pequeño afloramiento por corte de carretera, lateral al hospital clínico, se apreciaron fragmentos de cuarzo y esquistos, este último altamente meteorizado. Color de la muestra amarillento a naranja.	D	La zona original para el muestreo no se pudo tomar por ser el espesor de relleno muy profundo, se presume por las construcciones de las edificaciones de la zona, se decidió tomar la muestra varios metros más alejada en una zona donde se veía aflorando suelo <i>in situ</i> por corte de carretera.
SPL-SUB-009	45-55	Primeros 10cm de raíces y relleno. A partir de los 20cm sedimentos homogéneos color naranja, suave al tacto. No se aprecian fragmentos de roca.	E	Se tomó la muestra varios metros alejada del punto original debido a que la zona estaba cercana a la estación del metro y estructuras de ventilación del mismo, para evitar material de relleno, producto de grandes movimientos de suelo por dichas construcciones.
SLB-SUB-010	40-50	Primeros 20cm, material de relleno. Abundantes raíces. Suelo consolidado, duro. Fragmentos de cuarzo y esquistos (1cm). Alta meteorización. Color naranja rojizo	C	EL punto de muestreo se aleja varios metros del punto original, debido a la imposibilidad de tomar muestras allí, debido a la que la zona está completamente pavimentada.

	SPM-SUC-011	1,5m de profundidad (excavación para tuberías), 60-70cm, diagonal a las paredes de la excavación.	Se aprovechó que en la zona de muestreo se estaba haciendo una gran excavación para arreglar tuberías. En las paredes del corte a más de 1,5m de profundidad se realizó una excavación secundaria en diagonal para extraer la muestra, relativamente homogénea de color rojizo oscuro muy húmeda con alta plasticidad en ensayo manual.	E	
	SJA-SUB-013	40-50	Suelo bastante compacto, se encontró material de relleno hasta los 30cm. Clastos pequeños, se observan sedimentos de arena y otros más finos, color marrón rojizo oscuro.	D	
	SJM-SUB-015	40-50	Se observan esquistos descompuesto, por alta meteorización de color gris y naranja, gran cantidad de estos clastos de 1-3cm. Sedimentos de textura muy arenosa de color marrón rojizo.	C	
	SGB-SUC-016	50-70	Materia orgánica color negruzco los primeros 10cm. Textura relativamente homogénea, plasticidad media al ensayo manual, pequeños clastos de 5mm, sedimentos muy finos y de color marrón oscuro bastante húmedo en todo el intervalo.	E	
ESTE	ECH-SUB-002	40-50	Primeros 10cm de asfalto mezclado. Subyacente suelo altamente meteorizado color naranja y bandeamientos de tonos rosados y amarillentos, fragmentos de esquistos descompuesto, muy plástico y compacto en ensayo manual.	E	
	ELM-SUB-005	40-50	En los primeros 15cm suelo contaminado con relleno, fragmentos de raíces. Subyacente se encontraron clastos pequeños de cuarzo, y otros fragmentos de roca de 5-1mm, sedimentos de textura arenosa con cierto porcentaje de finos. Color pardo.	D	

	ECA-SUC-007	50-60	Capa de piedra picada de 15cm, se observa material de relleno hasta los 300cm, subyacente sedimentos color marrón-rojizo con clastos pequeños de 0,5-1cm. Textura de sedimentos arenosa y con cierto porcentaje de finos.	B	
	EPS-SUB-008	50-60	Primeros centímetros de raíces, suelo de color marrón oscuro, se mantiene constante el color, presencia de clastos pequeños de 0,5-2mm. Textura de los sedimentos arenosa con cierto porcentaje de finos. Se sospecha material de relleno.	B	
	EPG-SUC-009	55-65 en diagonal al corte de carretera. A 1,8m de la superficie	Se tomó la muestra en un corte de carretera a 1,8m desde la superficie, en la pared del corte. Donde se observaba aflorando partes de esquistos altamente meteorizados con foliaciones de alto ángulo de buzamiento de color blanquizco. En la mayor parte del afloramiento se comporta como arcilloso con arena fina de color naranja claro.	D	
	ELA-SUB-011	45-55	Pequeño afloramiento al pie de la calle. Primeros 20cm color naranja claro, abundantes fragmentos de cuarzo de diversos tamaños. La textura mayoritaria del suelo es de arena fina color naranja.	C	
SURESTE	SEP-SUC-002	35-45	Muestra en corte de carretera, se observan fragmentos de esquistos muy meteorizados, presencia de óxidos, micas y cuarzo. Textura de los sedimentos arenosa con cierto porcentaje de finos, color naranja.	B	
	SEC-SUB-004	40-50	Primeros 10cm abundantes raíces sedimentos de color marrón. Se observan fragmentos de esquistos, alto contenido de micas, cericita con textura sedosa, óxidos y grafito. El promedio de tamaño de estos clastos es de 2-8mm. Sedimentos de textura arenosa con cierto porcentaje de finos. Color naranja claro.	C	

SEA-SUC-005	45-55	<p>La muestra se tomó en un afloramiento por corte de la construcción en los laterales del liceo. Se observaron fragmentos de esquistos altamente meteorizados, cuarcita. La textura de los sedimentos es mayoritariamente arenosa de color naranja. Se tiene dudas de si realmente el material es <i>in situ</i> o si es producto de movimientos de terreno hechos por las construcciones realizadas en la parte más elevada del terreno a varias decenas de metros. Siendo este material de la misma zona pero removido.</p>	C	<p>Debido a modificaciones del terreno por la construcción del liceo, y otras aledañas, no se logró recuperar muestra de la zona original prevista para el muestreo, por lo que se decidió tomar la muestra en un afloramiento a varios metros del lugar.</p>
SEU-SUC-006	55-65	<p>Muestra tomada de un corte de carretera con alta pendiente, en la superficie se aprecia un patrón similar a huellas de desecación, color de los sedimentos naranja relativamente homogéneo. Se observa alta meteorización. Presencia de fragmentos de esquistos micáceos color naranja, óxidos. La textura es arenosa con cierto contenido de finos.</p>	C	
SEC-SUC-007	50-60	<p>Horizontes bien diferenciados. Primeros 10cm de color marrón oscuro, abundante vegetación y raíces. Entre los 10-30cm color naranja abundantes clastos de esquistos altamente meteorizados, micáceos-grafíticos y tonos rosados y salmón. Luego de los 40cm, suelo color marrón de textura muy fina, húmeda y pastosa.</p>	D	
SET-SUB-008-R	45-55	<p>Horizontes diferenciados, primeros 15cm textura arcillosa de color marrón oscuro, presencia de raíces, subyace material más arenoso de color naranja claro a amarillento.</p>	D	<p>No se logró acceder a la zona original prevista para el muestreo debido a la alta seguridad que tiene la urbanización. Se tomó la muestra dentro de la urbanización, pero a muchos metros de distancia del punto original, por lo que las condiciones litológicas pueden haber variado considerablemente.</p>

	SEU-SUB-011	40-50	Primeros 10cm de capa orgánica con raíces marrón oscuro muy pastosa. Subyacen sedimentos de textura arcillosa de color naranja oscuro, se aprecian fragmentos de esquistos muy meteorizado y descompuesto micáceo, grafitoso, con algunas tonalidades rosas y salmón, hay fragmentos de lo que parece filita grafitosa que mancha al tacto. Alta plasticidad en ensayo manual.	E	
--	-------------	-------	--	---	--

### IV.3 Resultados obtenidos en la etapa de laboratorio

Cada una de las muestras (32) recuperadas en la etapa de muestreo de campo, fueron analizadas en el laboratorio.

Respecto a los resultados de la difracción de rayos X, se obtuvieron los siguientes resultados de la composición mineralógica promedio de cada una de las muestras. Los difractogramas se encuentran en el (anexo E).

Tabla 12. Composición mineralógica obtenida por DRX.

ZONA	NRO	ETIQUETA	MINERALOGÍA	IdAtlas
<b>OESTE</b>	4	OPB-SUB-004	Cuarzo, Grafito, Muscovita	AACCS1
	6	ORP-SUB-006	Cuarzo, Illita, Calcita, Grafito, Muscovita	AACCS2
	7	OPA-SUB-007	Cuarzo, Illita, Grafito, Muscovita Ca, Dickita	AACCS3
	7	OPA-SUB-007-D	Cuarzo, Illita, Muscovita, Flogopita	AACCS4
	12	OCA-SUB-012	Cuarzo, Illita, Muscovita, Grafito	AACCS5
	13	OCA-SUB-013	Cuarzo, Muscovita, Grafito, Albita Ca, Illita	AACCS6
<b>SUR</b>	1	SBP-SUB-001	Cuarzo, Illita, Muscovita, Albita	AACCS7
	2	SUB-SUB-002	Cuarzo, Illita, Muscovita, Albita	AACCS8
	3	SUC-SUB-003	Cuarzo, Illita, Muscovita, Grafito	AACCS9
	4	SUC-SUB-004	Cuarzo, Illita, Muscovita	AACCS10
	5	SUC-SUB-005	Cuarzo, Illita, Muscovita	AACCS11
	6	SUC-SUB-006	Cuarzo, Albita, Dickita, Muscovita	AACCS12

	7	SCU-SUB-007	Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita	AACCS13
	9	SPL-SUB-009	Cuarzo, Illita, Muscovita, Dickita	AACCS14
	10	SLB-SUB-010	Cuarzo, Illita, Grafito, Muscovita, Albita	AACCS15
	11	SPM-SUC-011	Cuarzo, Illita, Muscovita, Grafito	AACCS16
	13	SJA-SUB-013	Cuarzo, Illita, Muscovita, Dickita	AACCS17
	15	SJM-SUB-015	Cuarzo, Illita, Muscovita, Dickita	AACCS18
	16	SGB-SUC-016	Cuarzo, Illita, Muscovita	AACCS19
<b>ESTE</b>	2	ECH-SUB-002	Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita, Halloysite	AACCS20
	5	ELM-SUB-005	Cuarzo, Biotita, Illita, Muscovita	AACCS21
	7	ECA-SUC-007	Cuarzo, Albita, Anortita	AACCS22
	8	EPS-SUB-008	Cuarzo, Albita, Illita, Muscovita	AACCS23
	9	EPG-SUC-009	Cuarzo, Albita, Epidoto, Anortita Na, Illita, Vermiculita, Leightonita	AACCS24
	11	ELA-SUB-011	Cuarzo, Albita, Illita, Muscovita	AACCS25
<b>SURESTE</b>	2	<u>SEP</u> -SUC-002	Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita	AACCS26
	4	<u>SEC</u> -SUB-004	Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita	AACCS27
	5	<u>SEA</u> -SUC-005	Cuarzo, Illita, Muscovita	AACCS28
	6	<u>SEU</u> -SUC-006	Cuarzo, Grafito, Flogopita, Illita, Muscovita	AACCS29
	7	<u>SEC</u> -SUC-007	Cuarzo, Grafito, Illita-Montmorillonita, Muscovita	AACCS30
	8	<u>SET</u> -SUB-008-R	Cuarzo, Muscovita, Alurgita, Illita, Caolinita	AACCS31
	11	<u>SEU</u> -SUB-011	Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita	AACCS32

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS Y SÍNTESIS**

#### **V.1 Relación de la variabilidad espacial de la pendiente y la textura del suelo**

Un estudio realizado en el país tropical de Etiopía y con condiciones de altura y relieve similares al del valle de Caracas (TAYE, SIMANE, SELSSSIE, ZAITCHIK & SETEGN, 2018), relaciona la variabilidad espacial de la pendiente y la textura del suelo.

En sus resultados concluyen que hubo un aumento del contenido de arena y una disminución del contenido de arcilla con la elevación. El contenido de arena fue mayor en las posiciones ascendentes y menor en relación con el limo y la arcilla en las áreas descendentes.

Lo anterior podría estar asociado con la eliminación de partículas finas de suelo de pendientes más pronunciadas y su depositación en posiciones de pendientes más bajas, el resultado también implicó la presencia de altos niveles de escorrentía y sedimentación en las zonas aguas arriba y aguas abajo de la cuenca. En el estudio se describe que las áreas de pendiente más baja mostraron una textura más arcillosa (TAYE, SIMANE, SELSSSIE, ZAITCHIK & SETEGN, 2018).

#### **V.2 Interpretación del Mapa de Pendientes**

Tras la interpretación del Mapa de Pendientes realizado para este estudio, donde se utilizó el criterio geomorfológico de clasificación de rango de pendientes de LUGO (1986), se descartaron las zonas de pendientes muy



pronunciadas (mayores a 12°), al comprender que difícilmente se podrían acumular y preservar sedimentos arcillosos de manera efectiva, incluso si su origen fuese *in situ* (neoformación) por descomposición y meteorización de la roca.

Gracias a este análisis se descartaron del área de estudio extensas zonas con baja posibilidad de contener sedimentos arcillosos:

- Flanco sur de la Serranía del Ávila.
- Fila de Quintana y Fila Elon al sur del municipio El Hatillo (ambas en dirección sureste-noroeste).
- Extremo este y noreste del Municipio Libertador, desde Cerro Alto hasta el flanco sur de Fila de Aguate, Alto de Izcaragua y Loma El Viento. (Con algunas excepciones de El Junquito y las zonas deprimidas delimitadas por Qda. Izcaragua, Qda. El Corozo y el río Macarao).

Caracas es una ciudad densamente poblada, con siglos de historia, crecimiento y desarrollo urbano; ésto ha modificado en algunas zonas, más que otras, la topografía natural del paisaje; éste efecto antrópico genera perturbaciones al momento de hacer análisis detallados en zonas puntuales, por lo que el mapa funciona como una herramienta para observar los rasgos generales del comportamiento de las pendientes y su relación con las texturas del suelo o sedimentos arcillosos.

### **V.3 Características geológicas generales observadas en campo durante la toma de muestras**

Las planillas de las descripciones de cada sitio de muestreo y los perfiles del suelo en los intervalos excavados se encuentran mejor detalladas en el anexo C y tabla 11.

#### **V.3.1 Descripciones de los sitios de muestreo**

De manera general, los lugares donde se tomaron muestras corresponden a paisajes tipo valle, representados principalmente por el río Guaire, el río El Valle y otros afluentes secundarios a éstos; de manera minoritaria, se tomaron muestras en lomas y/o colinas como las del municipio: El Hatillo y Baruta, y una zona más montañosa hacia el sector Sartenejas.

Durante las salidas de campo, el estado del tiempo fue lluvioso por lo que la humedad en los suelos era notable, sin embargo, algunos sitios con texturas más arenosas presentaban poca humedad.

El uso de los suelos estudiados, en la mayoría de los casos, estaba destinado a parques, áreas verdes, y cortes de carretera o avenidas. La vegetación en general era de tipo secundaria o compuesta por pastos y rastrojos. La pendiente del lecho de los suelos comúnmente no sobrepasaba los 5°.

#### **V.3.2 Descripciones de los perfiles**

En cuanto a los perfiles de los suelos, las excavaciones realizadas tuvieron profundidad promedio de 60 cm, con intervalo promedio de toma de muestra de 45-60cm (posibles horizontes B-C).

Los primeros 20cm (posible Horizonte A) correspondían a una capa compuesta por abundante materia orgánica (raíces, hojas...), a menudo de

textura arcillosa, de color marrón a marrón oscuro; dichos espesores podían aumentar o disminuir dependiendo de las características propias de cada sitio. En las zonas Sur y Este, fue común encontrar entre los primeros centímetros presencia de capas con material removido o de relleno.

Al pasar los 30cm de profundidad (posible horizonte B-C), los colores de los suelos tendían a ser de tonos más claros (naranja, rojizo y pardo), era común la presencia de óxidos y pequeños fragmentos de cuarzo y esquistos muy descompuestos de composiciones cuarcíticas-muscovíticas y en ocasiones grafitosa. Se evidenció una alta meteorización en la mayoría de los suelos en este intervalo. Los clastos en general no llegaron a representar más del 5% (estimación visual). Tras los ensayos *in situ*, muchos de los suelos, tenían comportamiento plástico, en particular los de la zona Oeste y Sur.

## V.4 Análisis e interpretaciones de los resultados mineralógicos a través de DRX y las unidades litológicas descritas en el área de estudio

### V.4.1 Zona Oeste

**Muestra:** OPB-SUB-004.

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

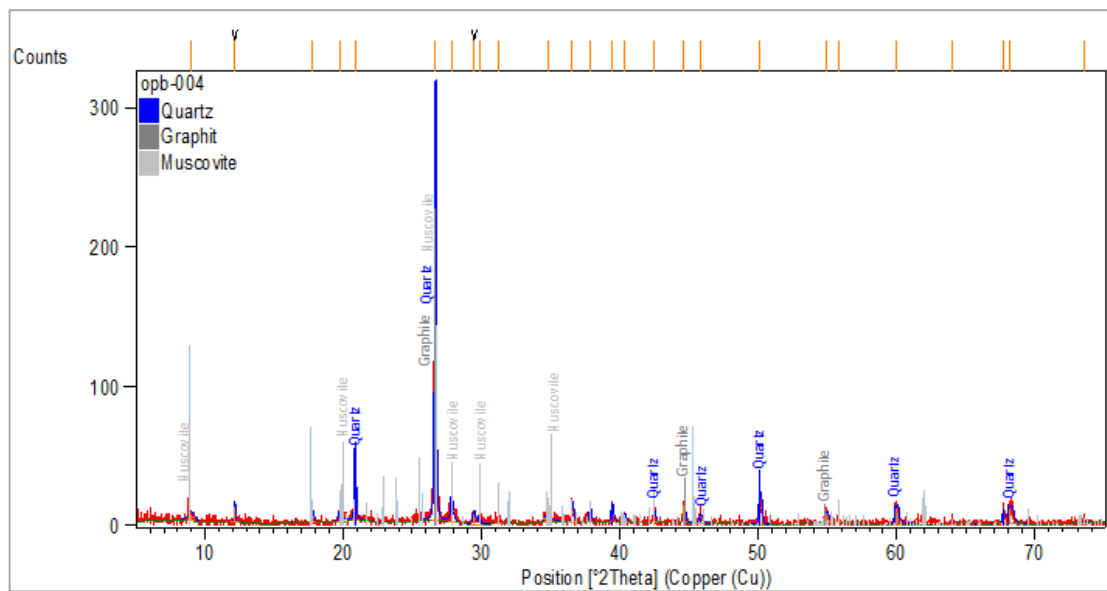


Fig 31. DRX muestra OPB-SUB-004.

Ubicada en el sector de Catia, se encuentra sobre la unidad cuaternaria Q3 del Pleistoceno Temprano, que se describe como abanicos con espesos niveles fangolíticos blanquecinos intercalados con niveles de explayamientos arenosos del mismo color y una intensa descomposición geoquímica.

Uno de los posibles y más probables fuentes de aporte de los sedimentos de esta unidad cuaternaria, es la del Terreno Esquisto las Brisas, que está constituido principalmente por esquistos cuarzo-albítico-micáceo, que se asocia a los minerales obtenidos en los análisis de DRX. Esta unidad

geológica también forma parte de los límites de la subcuenca de la Qda. Caracha, del sector de Catia.

A pesar de que la zona de muestreo se esperaba tuviese un alto potencial, en cuanto a presencia de arcillas de acuerdo a los análisis de la documentación previa realizada, no se identificaron minerales de este tipo; es probable que se trate de una de las intercalaciones más arenosas de la unidad cuaternaria, por lo que no se descarta la posibilidad de encontrar arcillas en esta localidad.

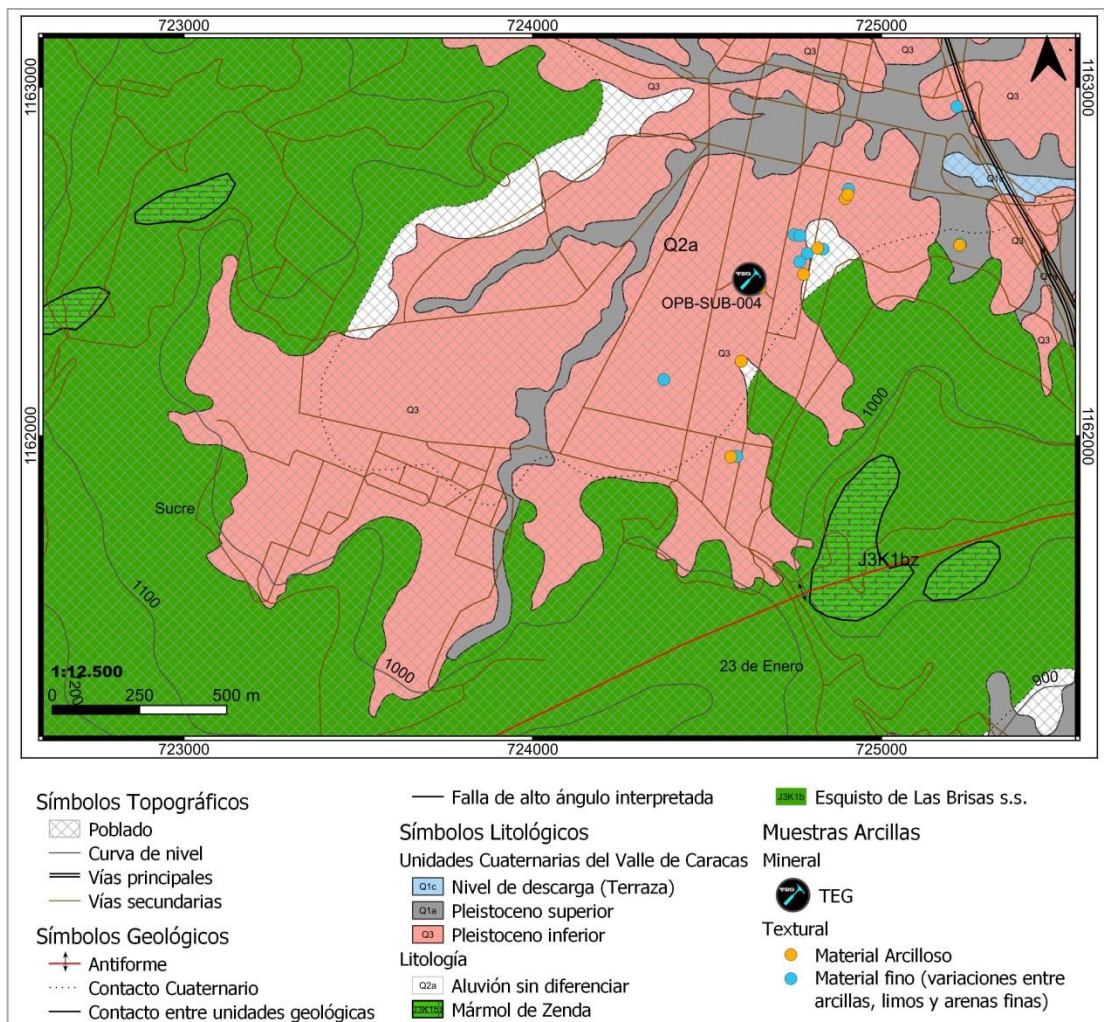


Fig 32. Mapa geológico con la ubicación de OPB-SUB-004.

**Muestra:** ORP-SUB-006.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Illita, Calcita, Grafito, Muscovita.

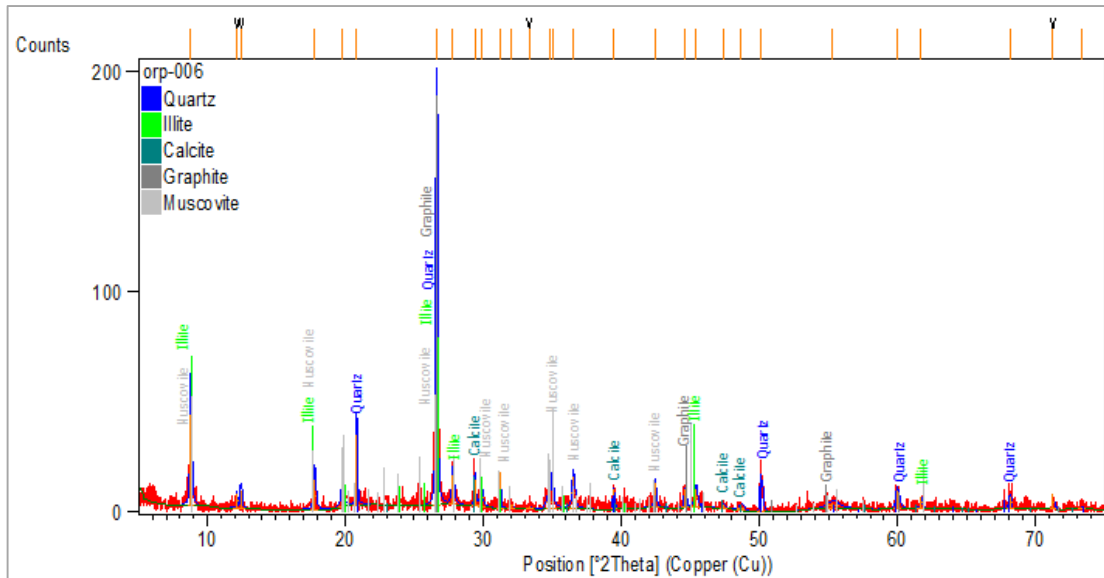


Fig 33. DRX muestra ORP-SUB-006.

La zona de muestreo está ubicada al sureste del sector El Paraíso al pie del alto topográfico que comprende la cota 905. Se encuentra sobre la unidad cuaternaria Q1a, que representa materiales coluvio-torrenciales entallados en terraza.

La zona más probable de aporte de sedimentos es del mismo alto topográfico de la cota 905, que está formado por el Terreno Esquisto de las Mercedes, constituido por esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico – grafitoso, con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes. Dicha mineralogía se correlaciona directamente con la encontrada en los análisis de DRX, mientras que la Illita se pudo haber originado por la degradación de la muscovita.



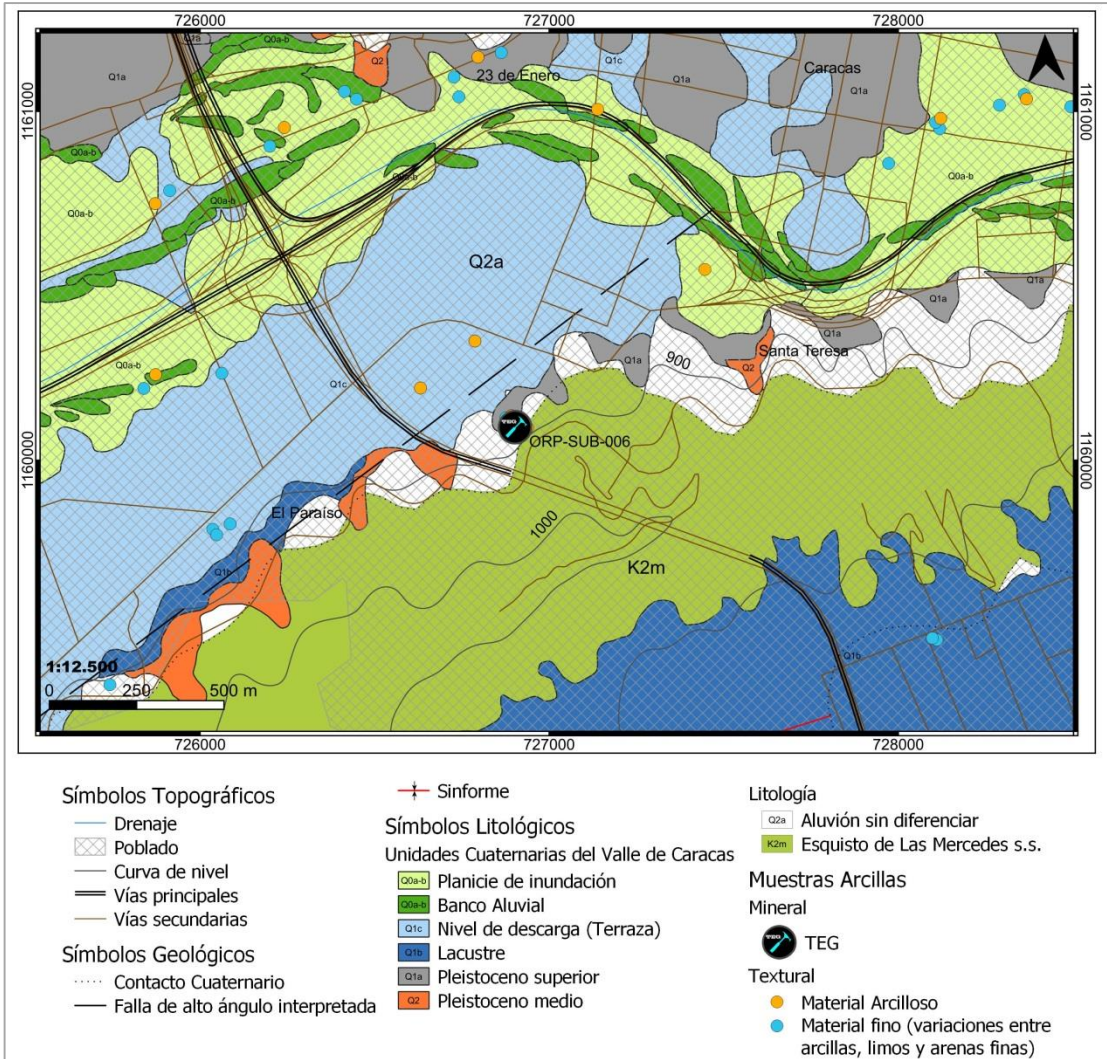


Fig 34. Mapa geológico con la ubicación de ORP-SUB-006.

**Muestras:** OPA-SUB-007 / OPA-SUB-007-D.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Illita, Grafito, Muscovita, Dickita / Cuarzo, Illita, Muscovita, Flogopita.

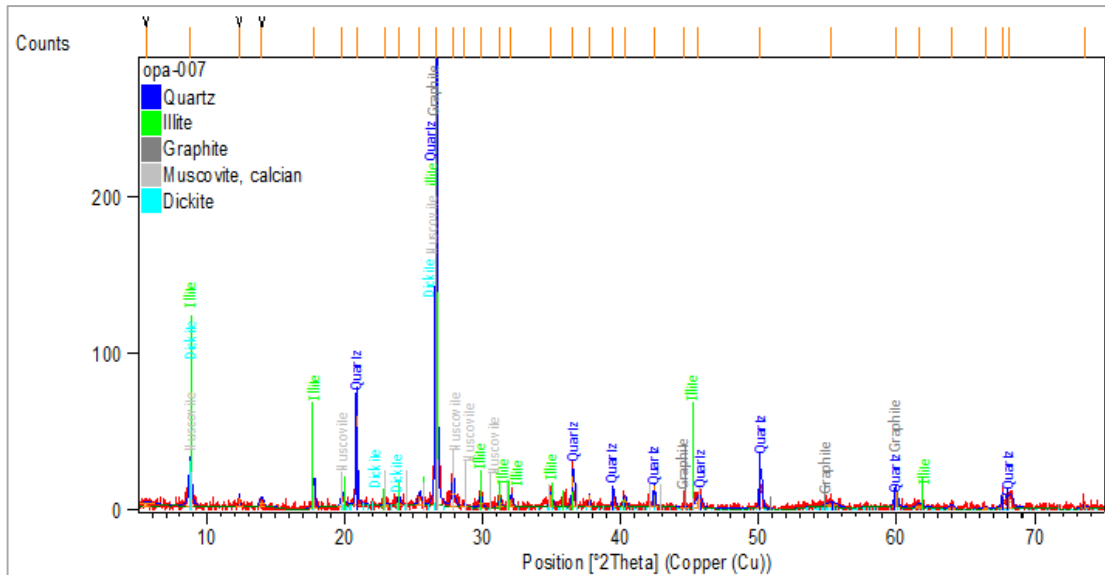


Fig 35. DRX muestra OPA-SUB-007.

Ambas muestras se encuentran en el parque La Paz, del sector El Paraíso, y pertenecen a la unidad cuaternaria Q0a-b que corresponde a planicies de inundación del río Guaire.

La fuente de aporte de sedimentos más cercana se trata del Terreno Esquisto de las Mercedes con composición de esquisto cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso. Sin embargo, no se descartan aportes más lejanos como el del Terreno Esquisto las Brisas trasladados por el río Guaire aguas abajo, constituido por esquisto cuarzo-albítico-micáceo. La mineralogía identificada en los análisis corresponde con las micas, cuarzo, calcita y grafito, presente en estas unidades.

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



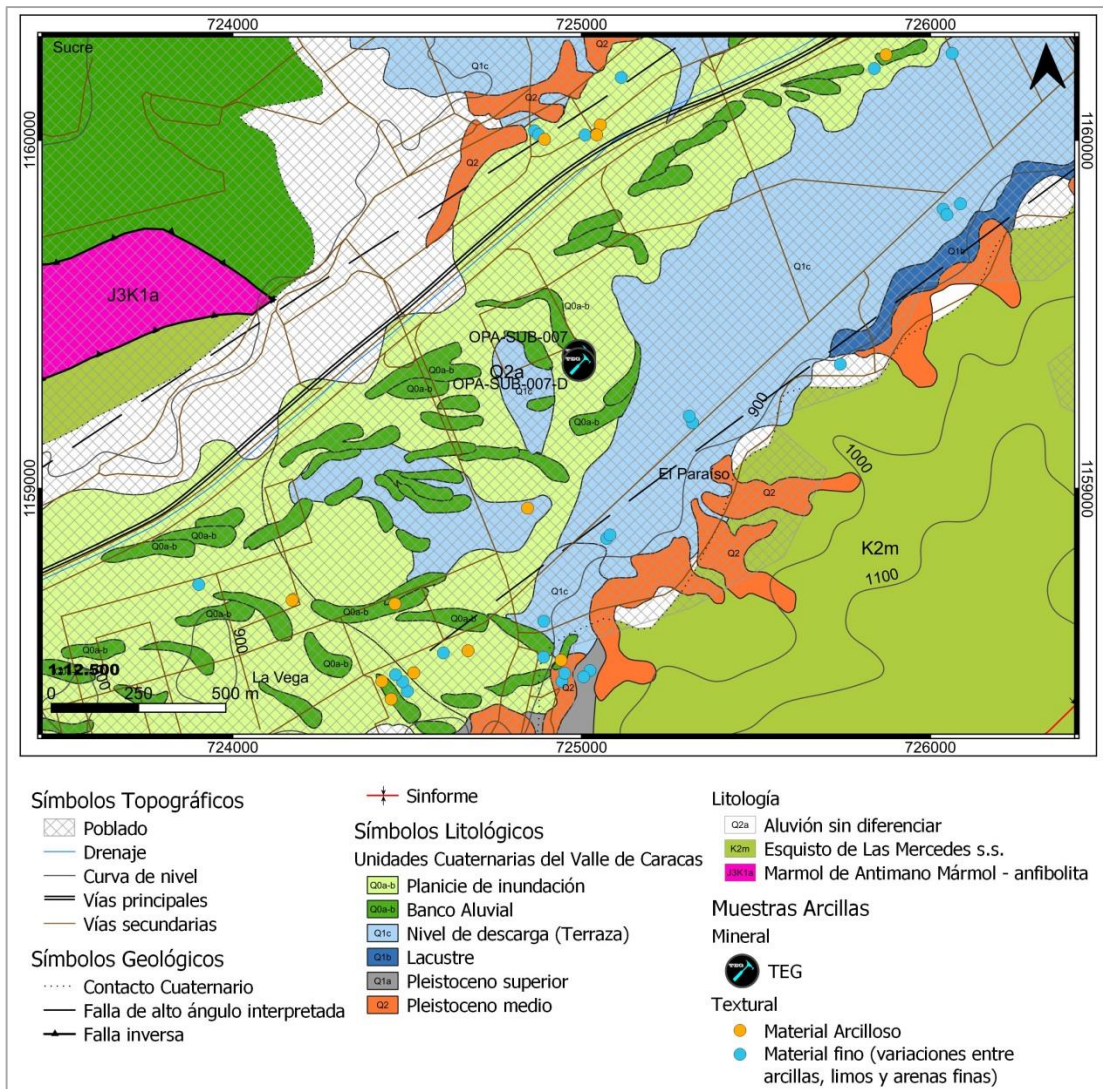


Fig 36. Mapa geológico con la ubicación de OPA-SUB-007 /OPA-SUB-007-D.

**Muestras:** OCA-SUB-012 / OCA-SUB-013

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Illita, Muscovita, Grafito / Cuarzo, Muscovita, Grafito, Albite Ca, Illita.

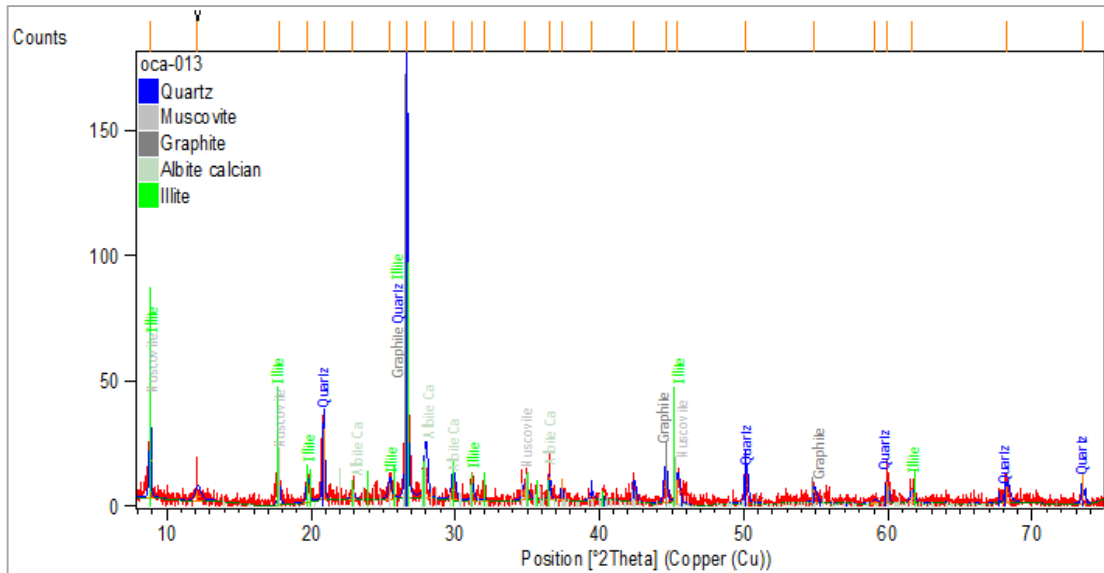


Fig 37. DRX muestra OCA-SUB-013.

Estas muestras se encuentran al este del sector Caricuao, sobre el Terreno Esquisto las Brisas que posee composición cuarzo-albítico-micáceo, ambas muestras se encuentran muy cercanas al contacto del Terreno Esquisto de las Mercedes con composición de esquisto cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso, explicando la mineralogía identificada a través de DRX.

En ambos casos, los suelos estudiados pueden tratarse de suelos residuales de origen *in situ* (neoformación), donde los minerales micáceos, como la muscovita, han sufrido degradación para formar las especies arcillosas de Illita.

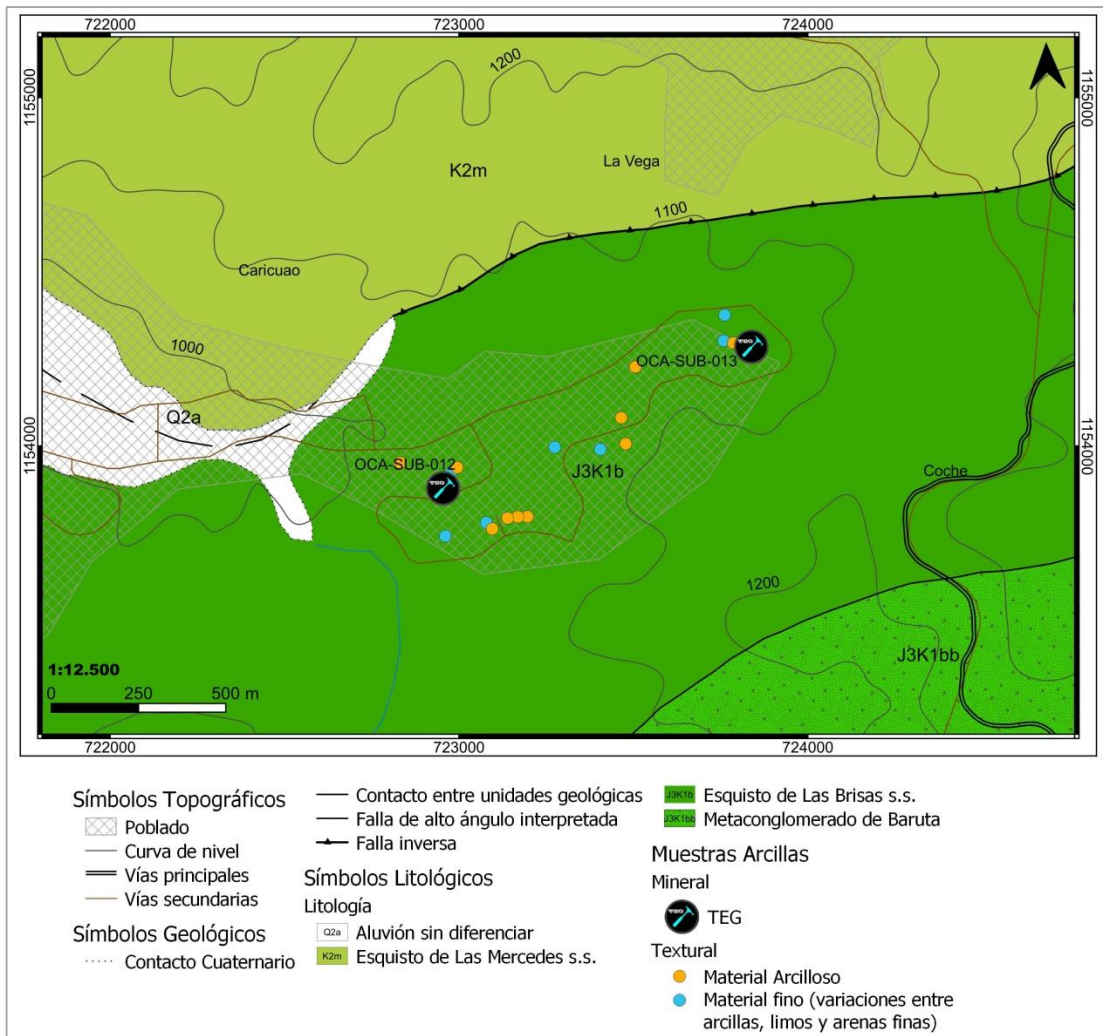


Fig 38. Mapa geológico con la ubicación de OCA-SUB-012 / OCA-SUB-013.

## V.4.2 Zona Sur

**Muestras:** SBP-SUB-001

Mineralogía DRX: Cuarzo, Illita, Muscovita, Albite

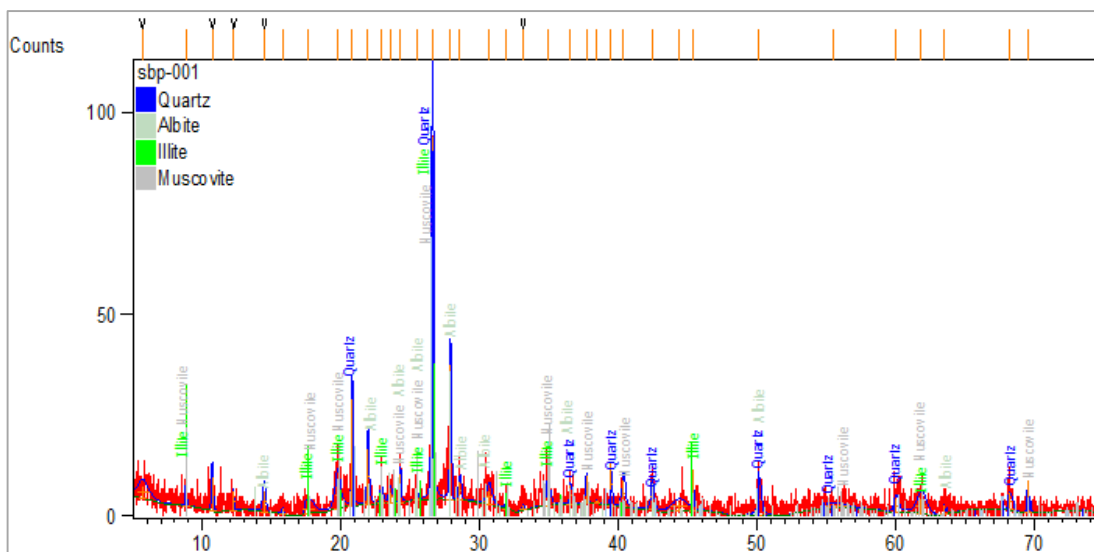


Fig 39. DRX muestra SBP-SUB-001.

Se ubica en el sector de Zona Rental y corresponde a la unidad cuaternaria Q1c que se describe como niveles encajados de descarga del río Guaire y de erosión tardi-lacustre, el aporte más cercano de sedimentos corresponde al Terreno Esquisto de las Mercedes (esquistos cuarzo-muscovítico-calcítico-grafítico) que se asocia con los minerales identificados a través de DRX. Siendo la illita una posible alteración de las micas presentes en estas unidades.

**Muestras:** SUB-SUB-002 / SUC-SUB-005

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Illita, Muscovita, Albite / Cuarzo, Illita, Muscovita.

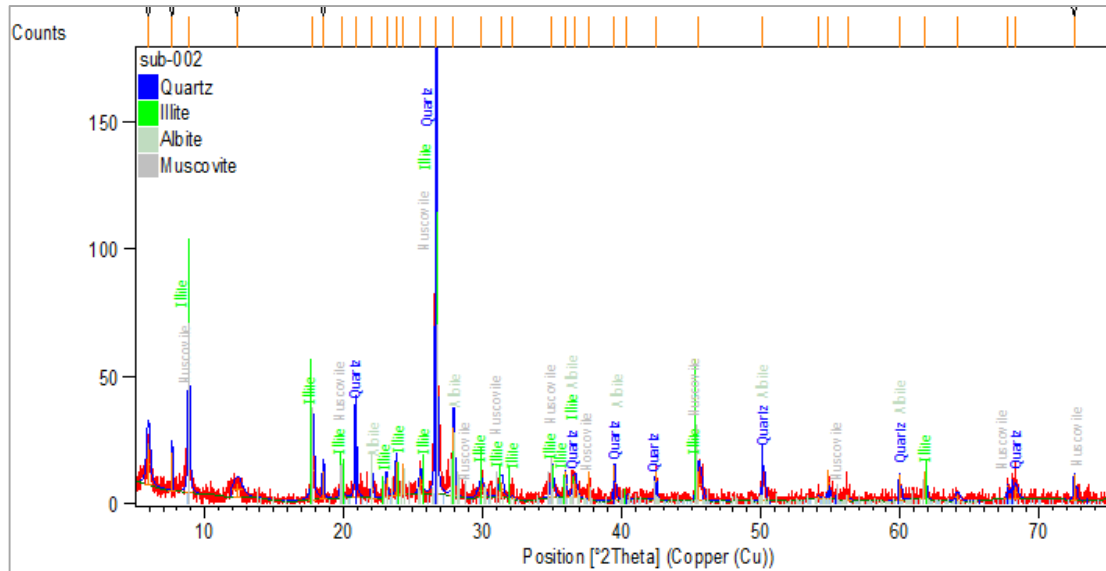


Fig 40. DRX muestra SUB-SUB-002.

SUB-SUB-002 ubicada en la UBV del sector Los Chaguaramos, y SUC-SUB-005 dentro de la UCV en el mismo sector, y ambas corresponden a la unidad cuaternaria Q0a-b descrita como planicies aluviales de descarga e inundación del río El Valle. De la misma manera que en la muestra anterior, la mineralogía identificada en DRX se asocia al Terreno Esquisto de las Mercedes, siendo ésta también el aporte de sedimentos más cercano. El mineral tipo arcilla illita se pudo haber originado por la descomposición geoquímica de las especies micáceas de esta unidad.

**Muestras:** SUC-SUB-003 / SUC-SUB-004 / SUC-SUB-006.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Illita, Muscovita, Grafito / Cuarzo, Illita, Muscovita / Cuarzo, Albita, Dickita, Muscovita.

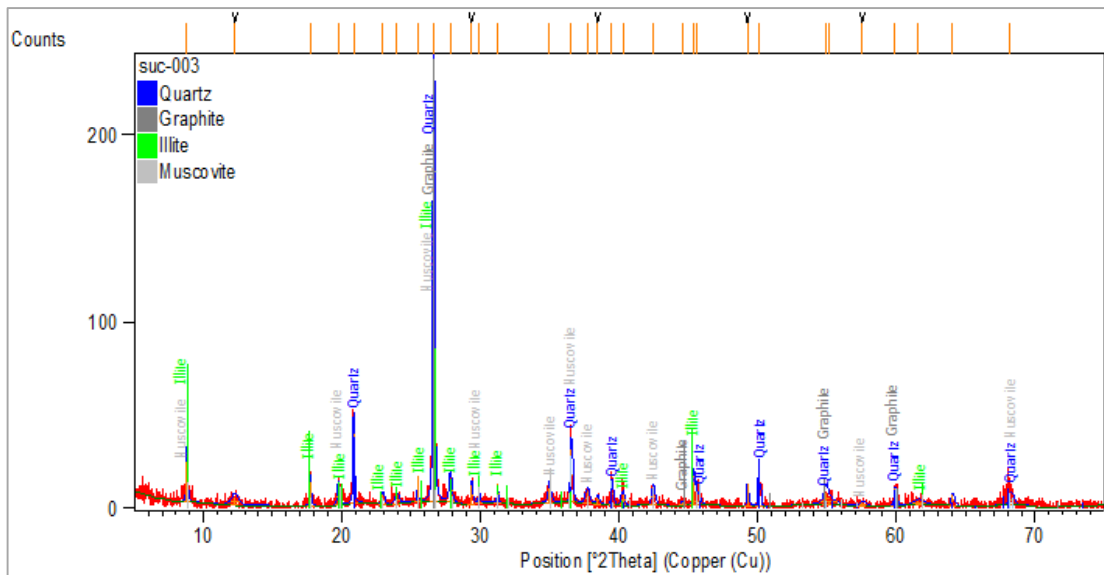


Fig 41. DRX muestra SUC-SUB-003.

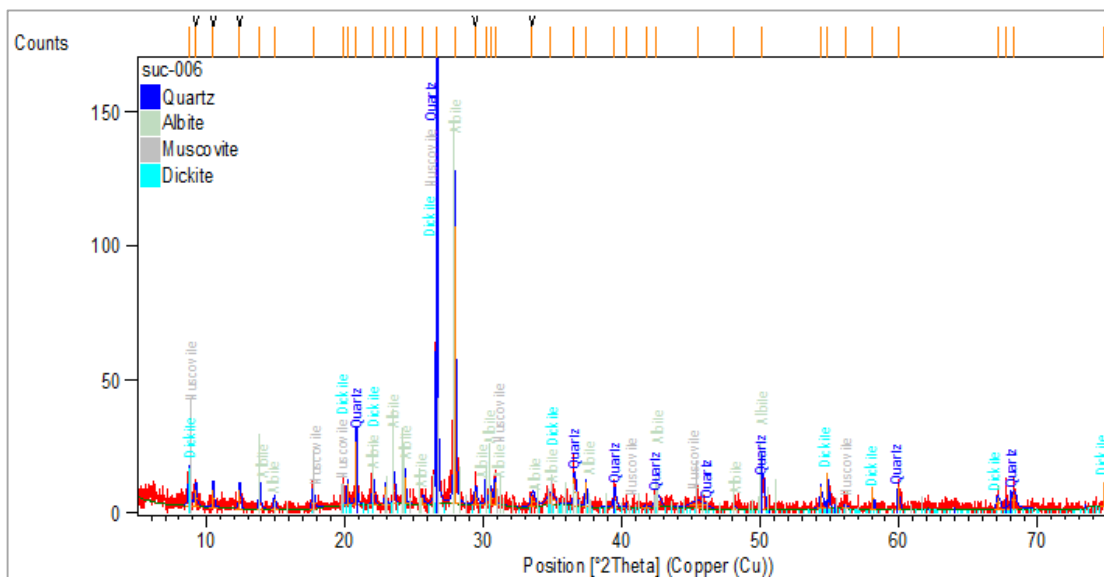


Fig 42. DRX muestra SUC-SUB-006.

Estas muestras se encuentran en el sector Los Chaguaramos, dentro la UCV, pertenecen a la unidad cuaternaria Q1c correspondiente a niveles de

descarga del río El Valle. Las especies minerales identificadas en DRX están asociadas al Terreno Esquisto Las Mercedes (esquistos cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso), que es la posible principal fuente de aporte de estos sedimentos cuaternarios, y una de las más extensas adyacentes. La illita y la dickita se pudieron haber formado por la degradación geoquímica de la muscovita presente.

**Muestras:** SCU-SUB-007.

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

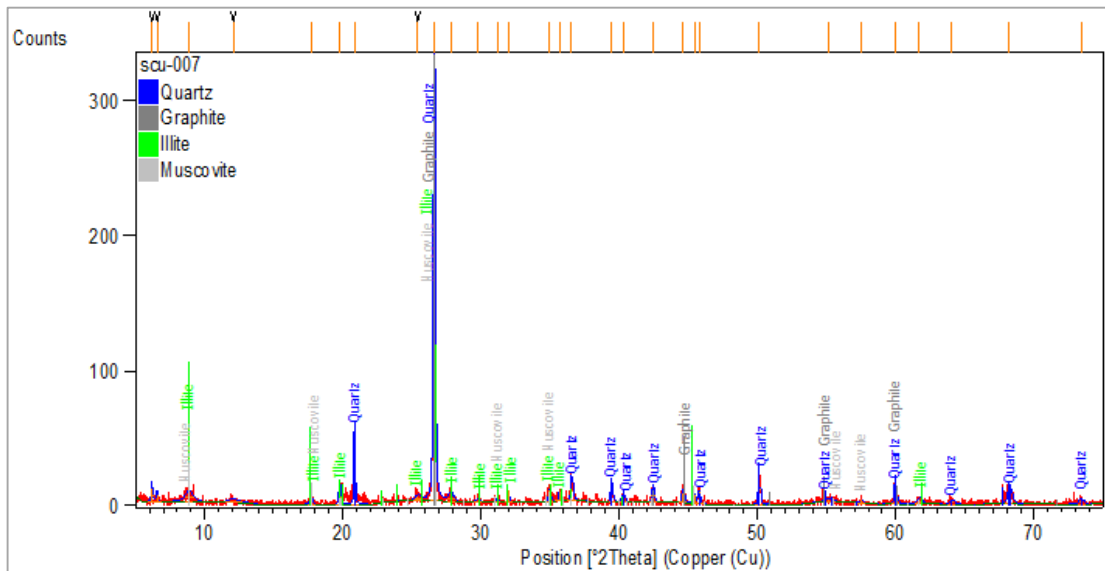


Fig 43. DRX muestra SCU-SUB-007.

Se ubica cerca del Hospital Universitario, UCV y está sobre el Terreno Esquisto Las Mercedes cercano al contacto con la unidad cuaternaria Q0a-b que corresponde a planicies de inundación del río El Valle; la mineralogía obtenida por DRX se asocia directamente a las de la unidad que corresponde a esquistos cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso. El mineral de arcilla illita se asocia a la descomposición de las micas que predominan en la unidad.



**Muestras:** SPL-SUB-009 / SLB-SUB-010 / SPM-SUC-011.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Illita, Muscovita, Dickita / Cuarzo, Illita, Grafito, Muscovita, Albita / Cuarzo, Illita, Muscovita, Grafito.

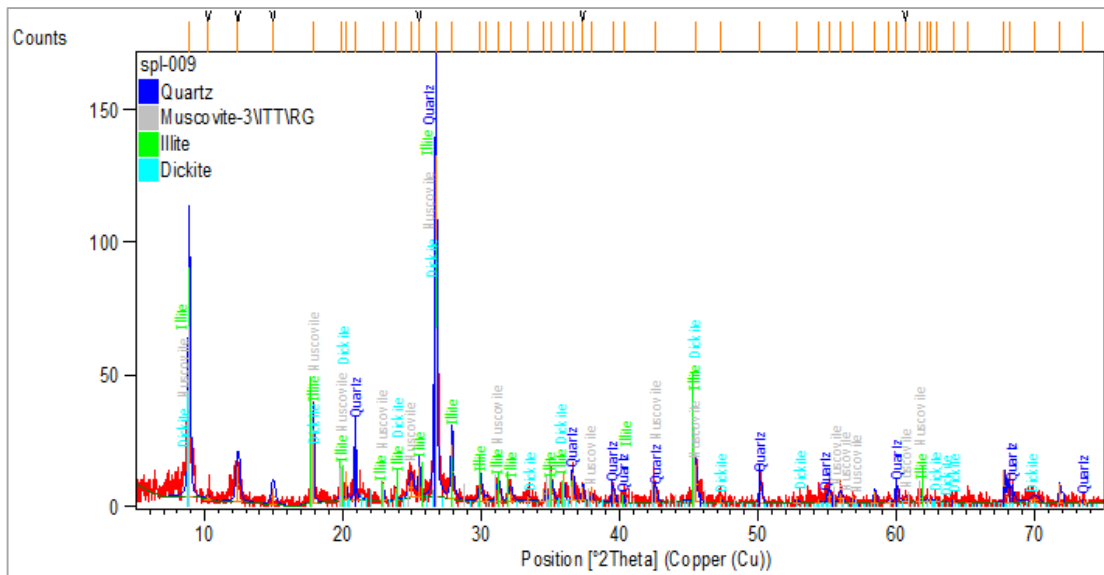


Fig 44. DRX muestra SPL-SUB-009.

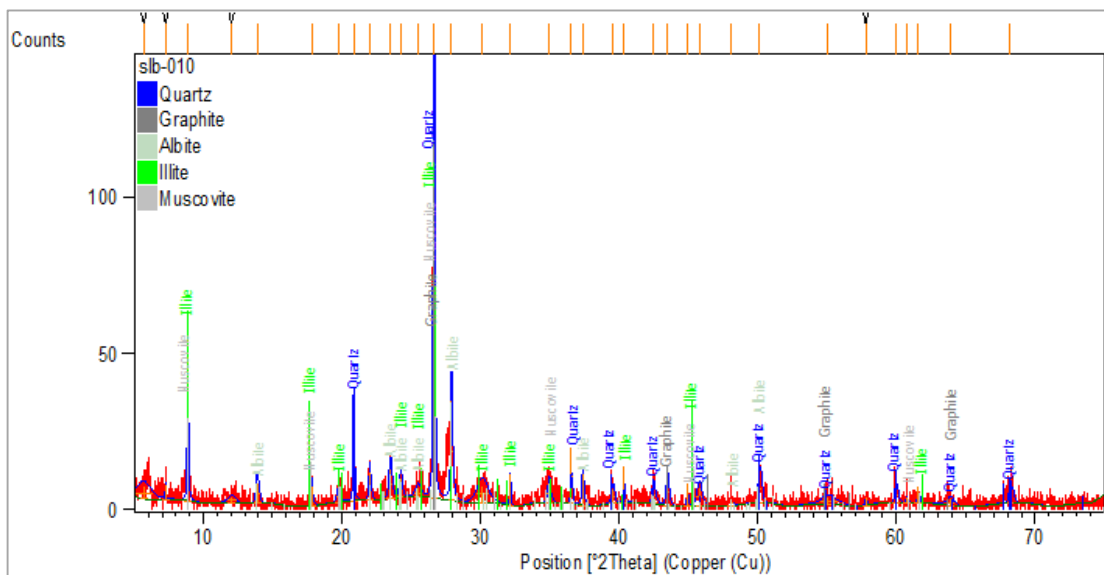


Fig 45. DRX muestra SLB-SUB-010.

Están ubicadas entre el sector Valle Abajo, Los Rosales y El Cementerio, respectivamente. Se encuentran sobre la unidad cuaternaria



Q1b que corresponde a depósitos lacustres por la obturación lateral del río El Valle.

El posible aporte de sedimentos a esta unidad cuaternaria, se asocia al Terreno Esquisto Las Mercedes que posee una gran extensión y rodea toda la unidad. La asociación mineralógica cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso de los esquistos, se adapta directamente a los minerales identificados en los sedimentos a través de DRX. Los minerales de arcilla iliita y dickita pudieron haberse originado por la alteración de la muscovita presente en la unidad.

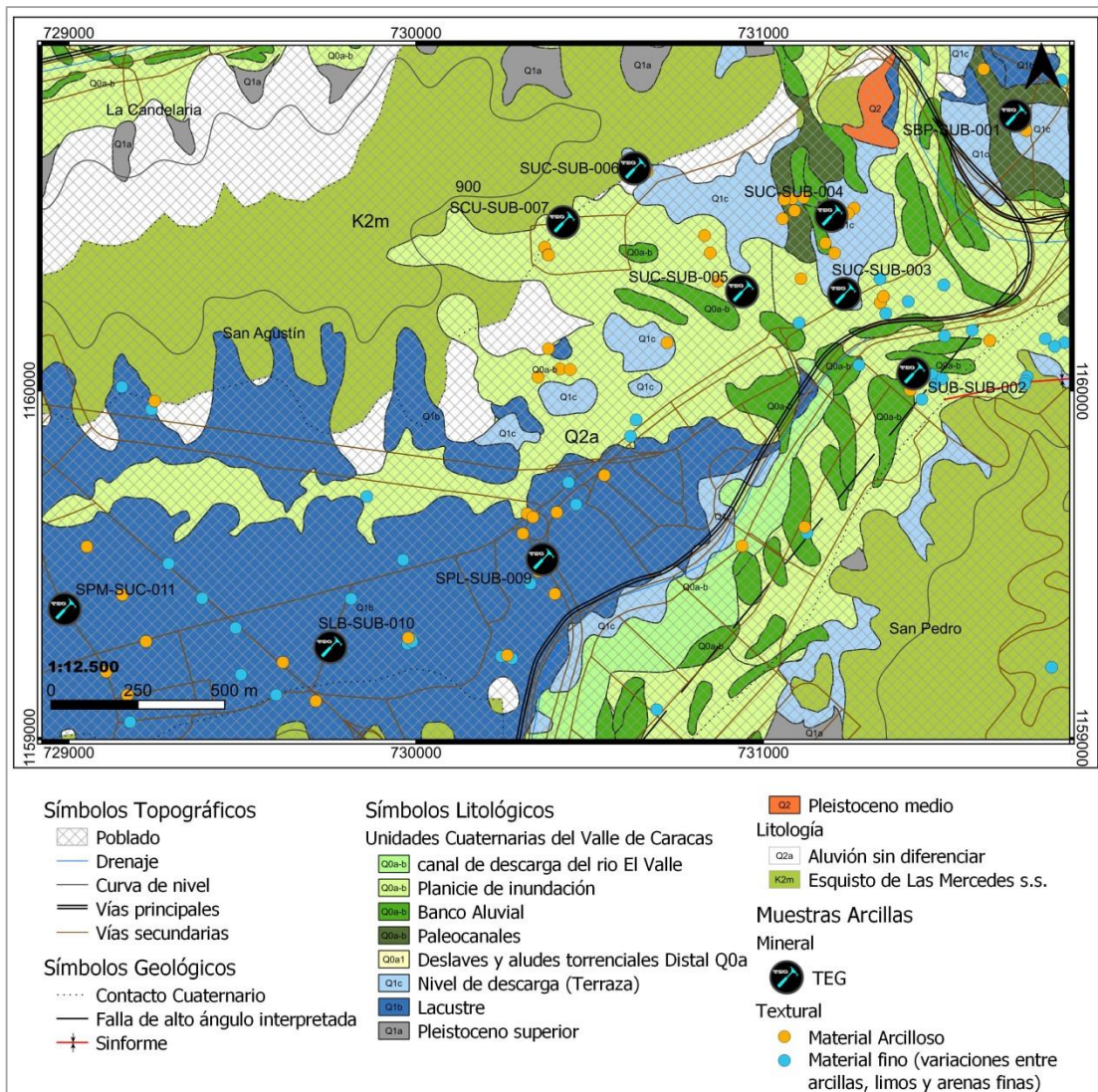


Fig 46. Mapa geológico con la ubicación de SBP-SUB-001 / SUB-SUB-002 / SUC-SUB-005 / SUC-SUB-003 / SUC-SUB-004 / SUC-SUB-006 / SPL-SUB-009 / SLB-SUB-010 / SPM-SUC-011.

**Muestras:** SJA-SUB-013 / SJM-SUB-015 / SGB-SUC-016

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Illita, Muscovita, Dickita / Cuarzo, Illita, Muscovita, Dickita / Cuarzo, Illita, Muscovita.

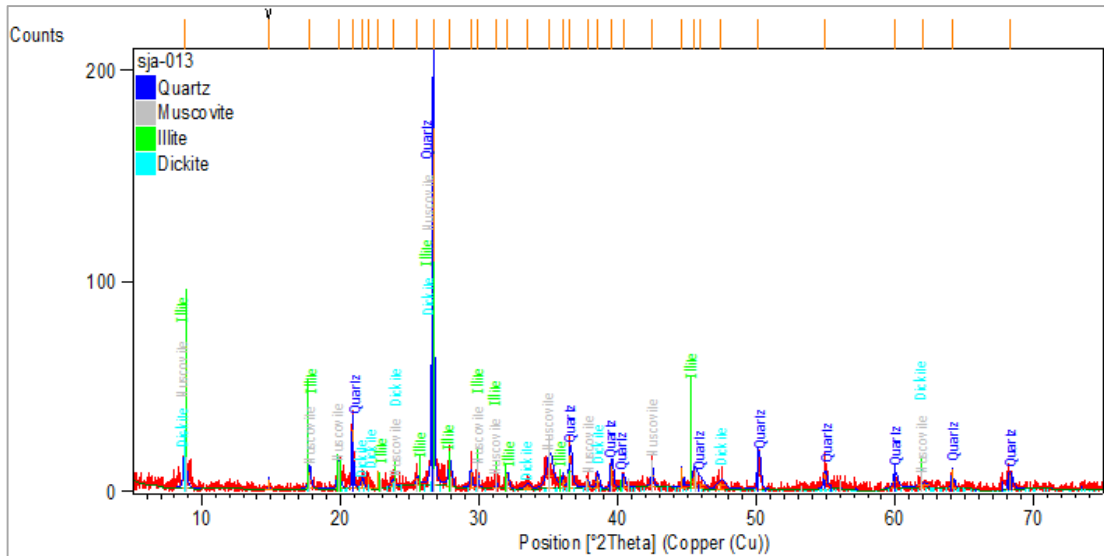


Fig 47. DRX muestra SJA-SUB-013.

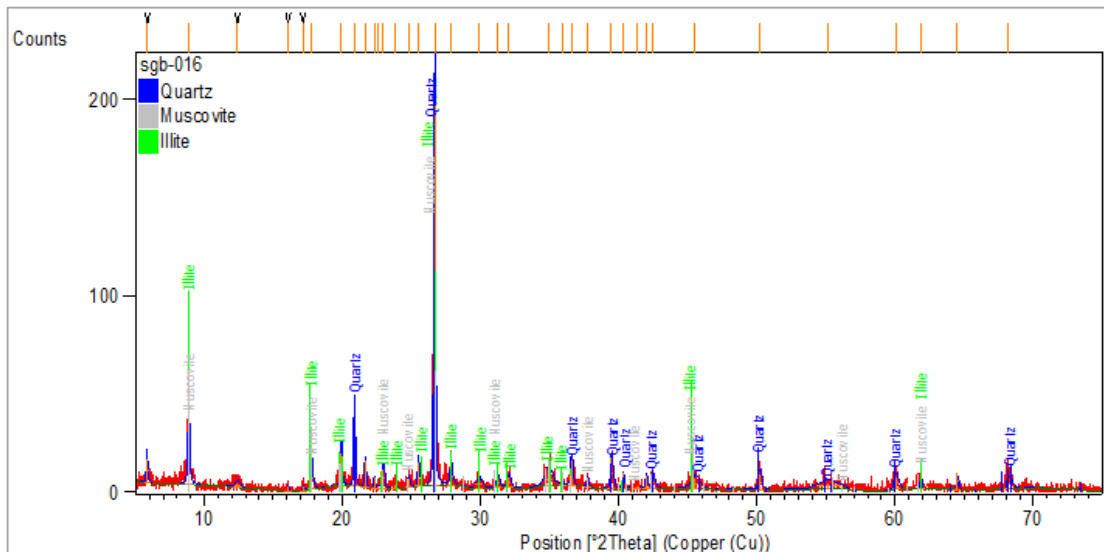


Fig 48. DRX muestra SGB-SUC-016.

Las ubicaciones de las zonas donde se tomaron estas muestras, corresponden a los sectores Valle-Coche, SJA-SUB-013 y SJM-SUB-015 se

encuentran sobre el Terreno Esquistado Las Mercedes, pudiendo haber generado suelos residuales producto de la meteorización y descomposición de la roca, mientras que SGB-SUC-016 se ubica sobre una unidad cuaternaria no diferenciada, en la que probablemente el aporte de sedimentos más cercano sea el mismo Terreno. Los minerales identificados por DRX para estas muestras se asocian con los de dicha unidad. Mientras que los minerales identificados de arcilla pudieron haber sido producto de la descomposición de las micas como la muscovita.

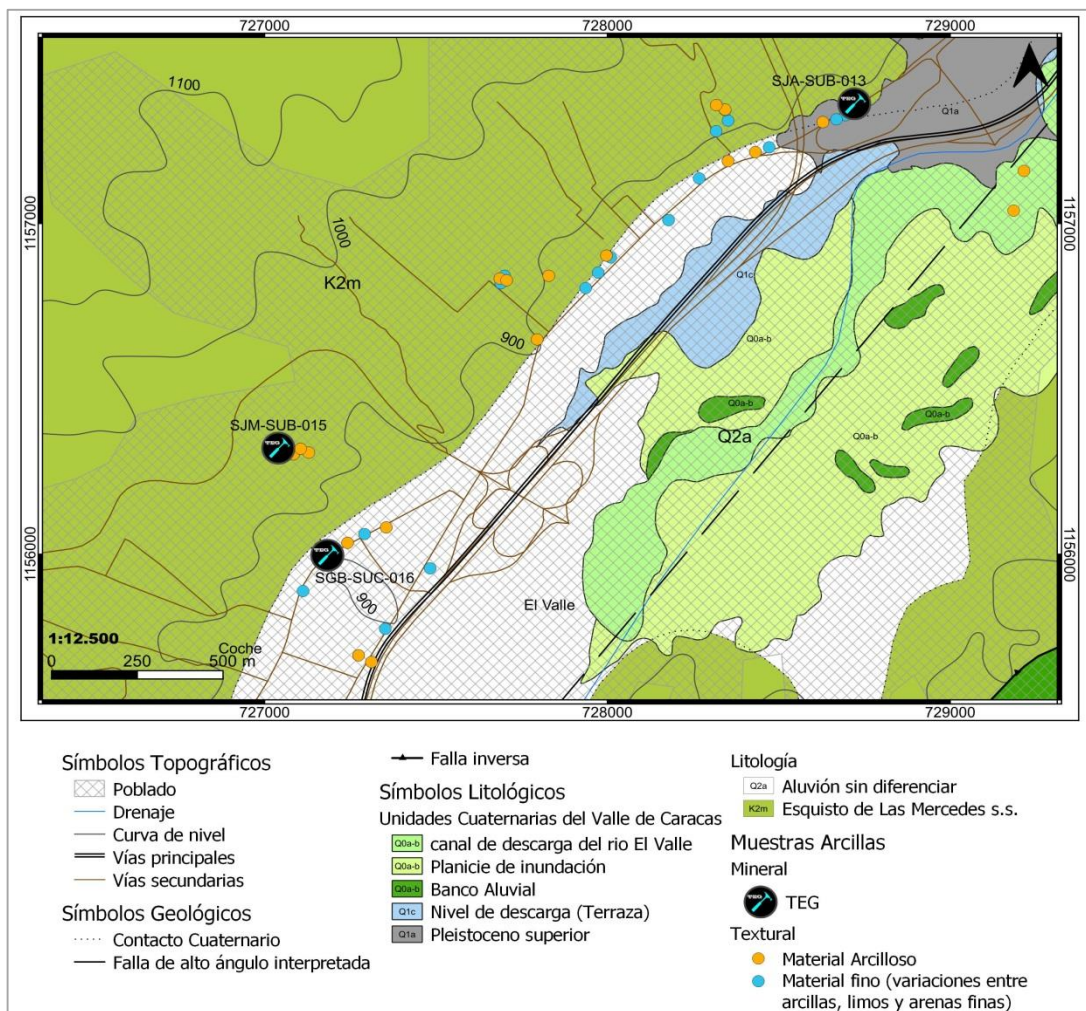


Fig 49. Mapa geológico con la ubicación de SJA-SUB-013 / SJM-SUB-015 / SGB-SUC-016.

### V.4.3 Zona Este

**Muestras:** ECH-SUB-002.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita, Halloysite.

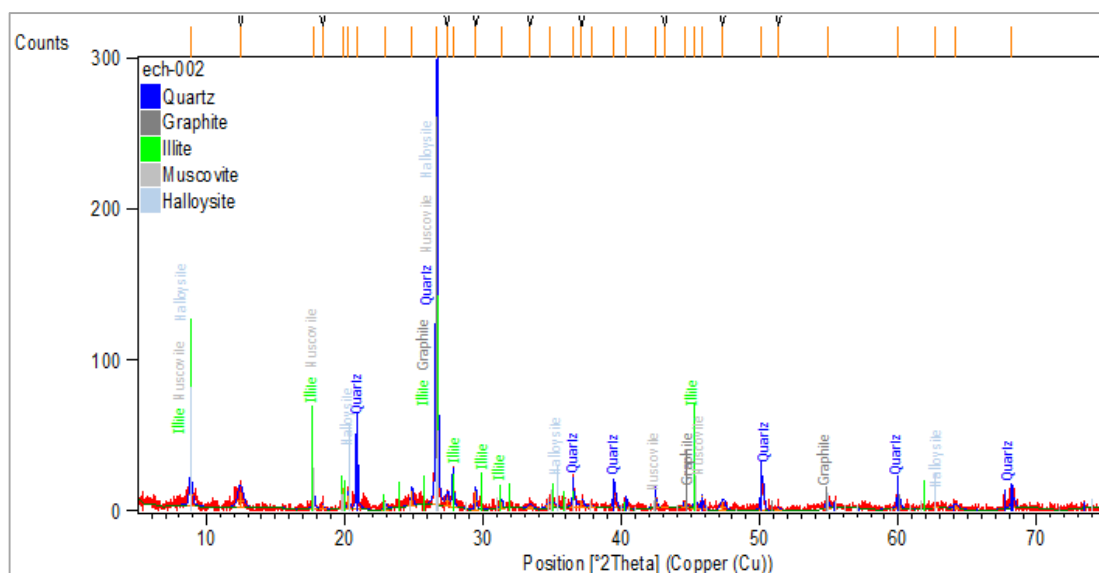


Fig 50. DRX muestra ECH-SUB-002.

Se ubica en el sector Sabana Grande, entre el contacto del Terreno Esquisto Las Mercedes y las unidades cuaternarias Q1b definida como depósitos lacustres y la unidad Q0a, de deslaves y aludes torrenciales.

La mineralogía de esta muestra, se asocia a la del Terreno Esquisto Las Mercedes, teniendo aporte directo y constituido principalmente por esquistos cuarzo-muscovítico-calcítico-grafítico. Los minerales tipo arcilla de illita y halloysita asociados pudieron haberse originado por la descomposición del mineral muscovita.



**Muestras:** ELM-SUB-005.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Biotita, Illita, Muscovita.

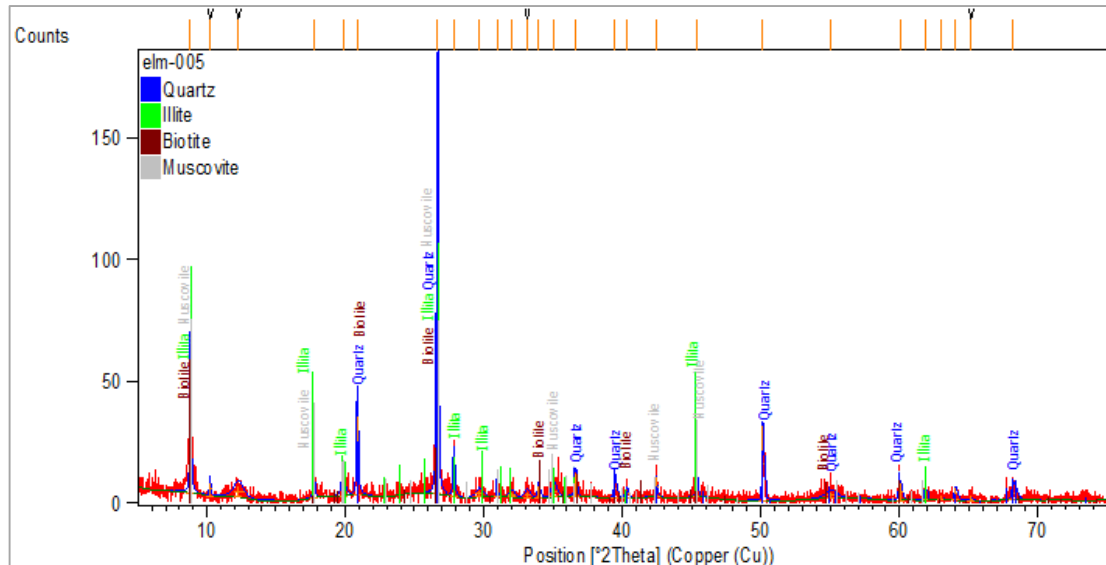


Fig 51. DRX muestra ELM-SUB-005.

Localizada al sur del sector Las Mercedes, se encuentra sobre la unidad cuaternaria Q2 que se describe como abanicos y terrazas fluvio-torrenciales, en la que se encuentran niveles fangolíticos hacia la parte superior de los perfiles, ésta unidad se encuentra en la subcuenca de la Qda. Baruta.

Se asocia la mineralogía cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso de los esquistos del Terreno Esquisto Las Mercedes, como principal aporte de los sedimentos de la unidad cuaternaria donde se ubica la muestra analizada por DRX, sin embargo, no se descarta la posibilidad de que exista un aporte de sedimentos del Terreno Esquisto Las Brisas ubicado aguas arriba de esta subcuenca. Como ha ocurrido antes, la illita puede estar asociada a la alteración de las micas descritas en estas unidades.

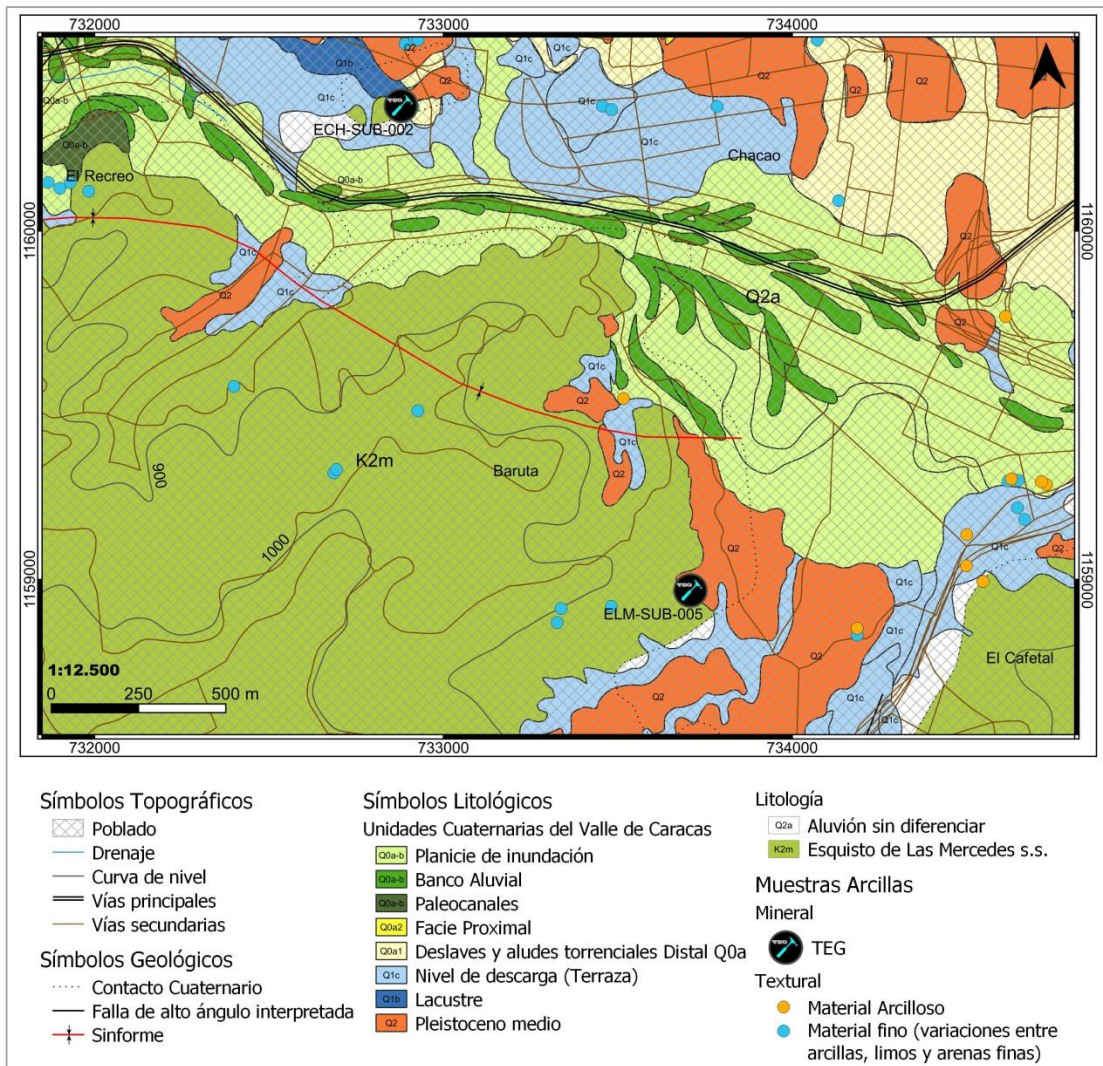


Fig 52. Mapa geológico con la ubicación de ECH-SUB-002 / ELM-SUB-005.

**Muestras:** ECA-SUC-007 / EPS-SUB-008.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Albite, Anortita / Cuarzo, Albite, Illita, Muscovita.

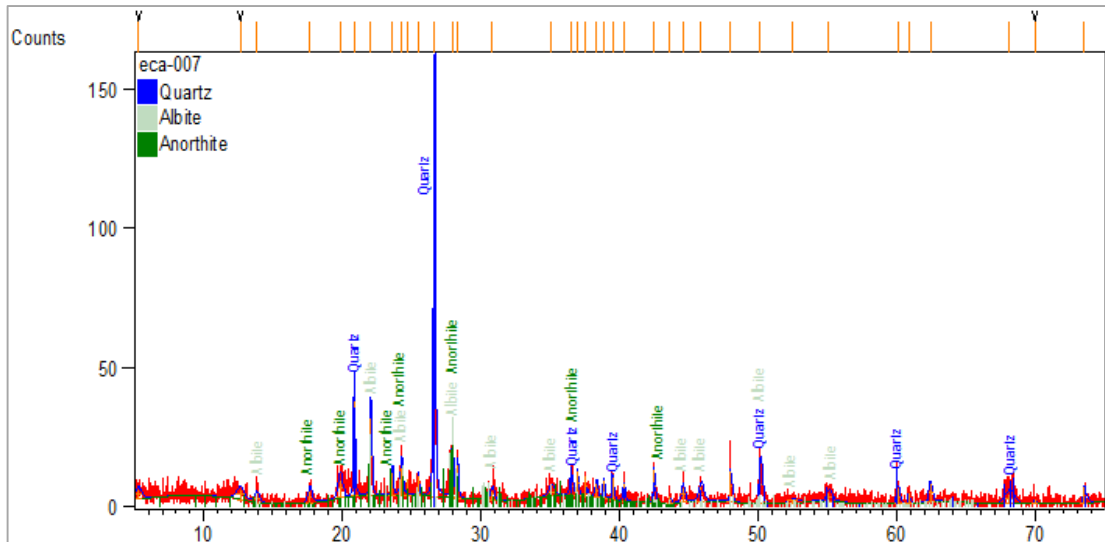


Fig 53. DRX muestra ECA-SUC-007.

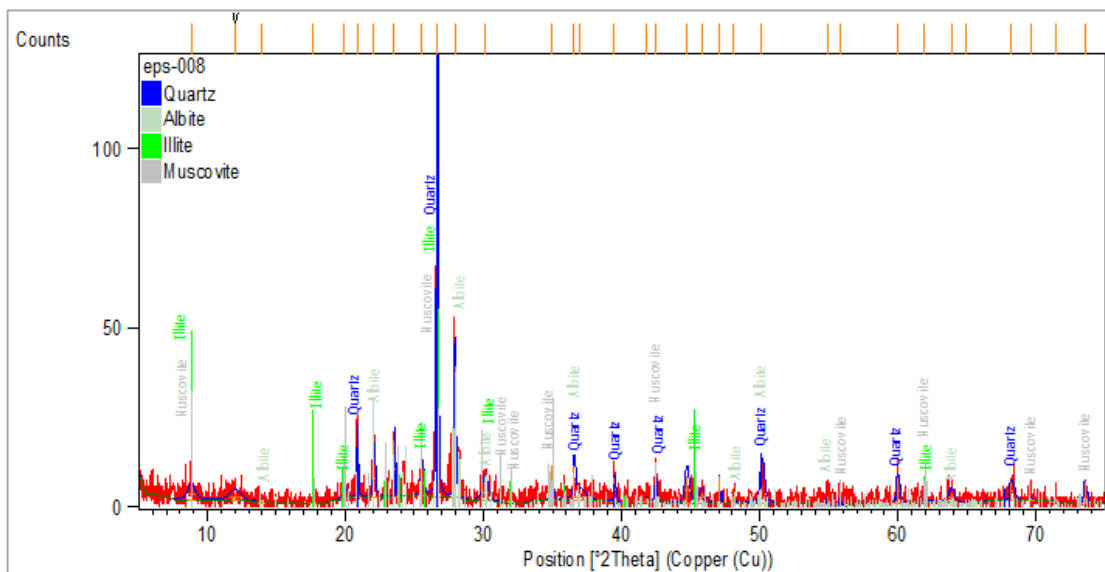


Fig 54. DRX muestra EPS-SUB-008.

Se ubican en los sectores Los Chorros y Santa Eduvigis respectivamente; ambas corresponden a las unidades cuaternarias Q2



descritas como abanicos y terrazas fluvio-torrenciales con niveles fangolíticos hacia la parte superior de los perfiles.

Uno de los posibles aportes de sedimentos, de esta unidad cuaternaria, es la del Terreno Ávila, siendo el Complejo San Julián una de las subunidades más extensas de dicho Terreno y constituida principalmente por esquisto y gneis cuarzo-micáceo-plagioclásico. Esta mineralogía se correlaciona con la identificada a través de DRX.

Solo para la muestra EPS-SUB-008 se identificó mineral de arcilla del grupo illita, por probable alteración de las micas presentes en las unidades. Para el caso de ECA-SUC-007 no se identificaron minerales de arcilla ni tampoco micáceos, podría deberse a cambios en la composición mineralógica en la fuente de aporte, o por altos niveles de energía dentro de la unidad cuaternaria que no permiten la concentración de estos minerales.

**Muestras:** EPG-SUC-009.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Albite, Epidoto, Anortita Na, Illita, Vermiculita, Leightonita.

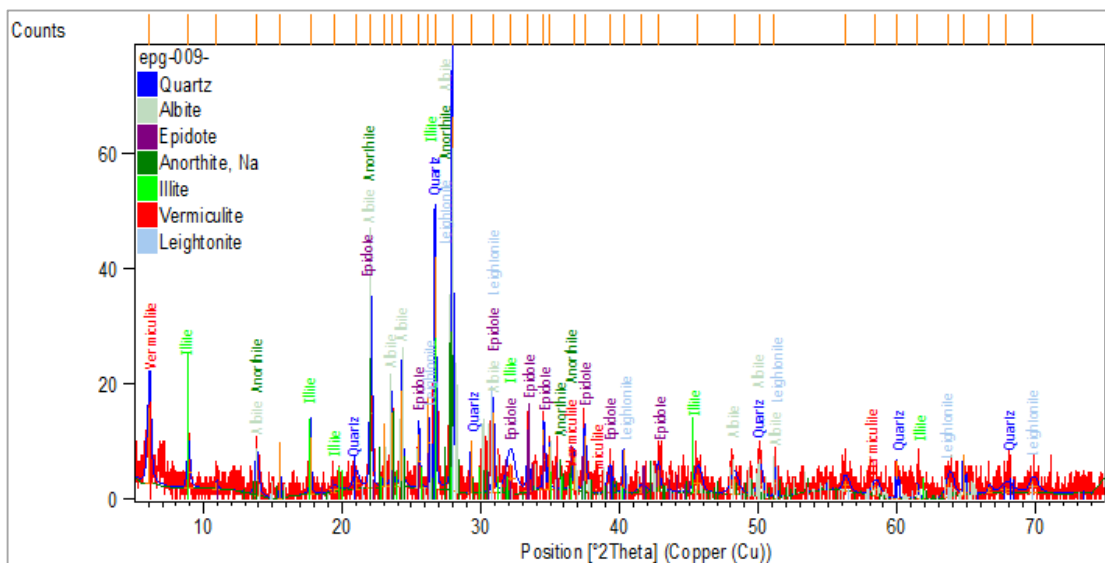


Fig 55. DRX muestra EPG-SUC-009.

La zona de donde se obtuvo la muestra se encuentra al norte del sector Los Palos Grandes, y corresponde a la unidad cuaternaria Q4 que se describe como remanentes discontinuos de acumulaciones detríticas groseras altamente descompuestas, reducidos al estado de “fantasmas”.

Al encontrarse al pie del cerro El Ávila es muy probable que la principal fuente de aporte de sedimentos de esta unidad cuaternaria provenga de ese alto topográfico conformado por el Terreno Ávila y varias subunidades como la del Complejo San Julián; constituida por esquisto y gneis cuarzo- micáceo-plagioclásico, la subunidad Augengneis de Peña de Mora; compuesto de cuarzo, plagioclasa, microclino, muscovita, epidoto y cantidades menores de biotita, clorita y granate. Dentro del Terreno Ávila también existen cuerpos de metagabros y eclogitas como los de la subunidad; Metaígneas de Tocomé, de composición más máfica.

Las asociaciones a estas unidades se correlacionan con las identificadas a través de DRX, siendo ésta una de las muestras con más especies minerales identificadas.

Los minerales de arcillas identificados como la illita, pueden estar asociados a la alteración de la muscovita, mientras que el mineral de vermiculita puede ser resultado de la alteración de las micas: biotita, clorita o muscovita presentes en la unidad.

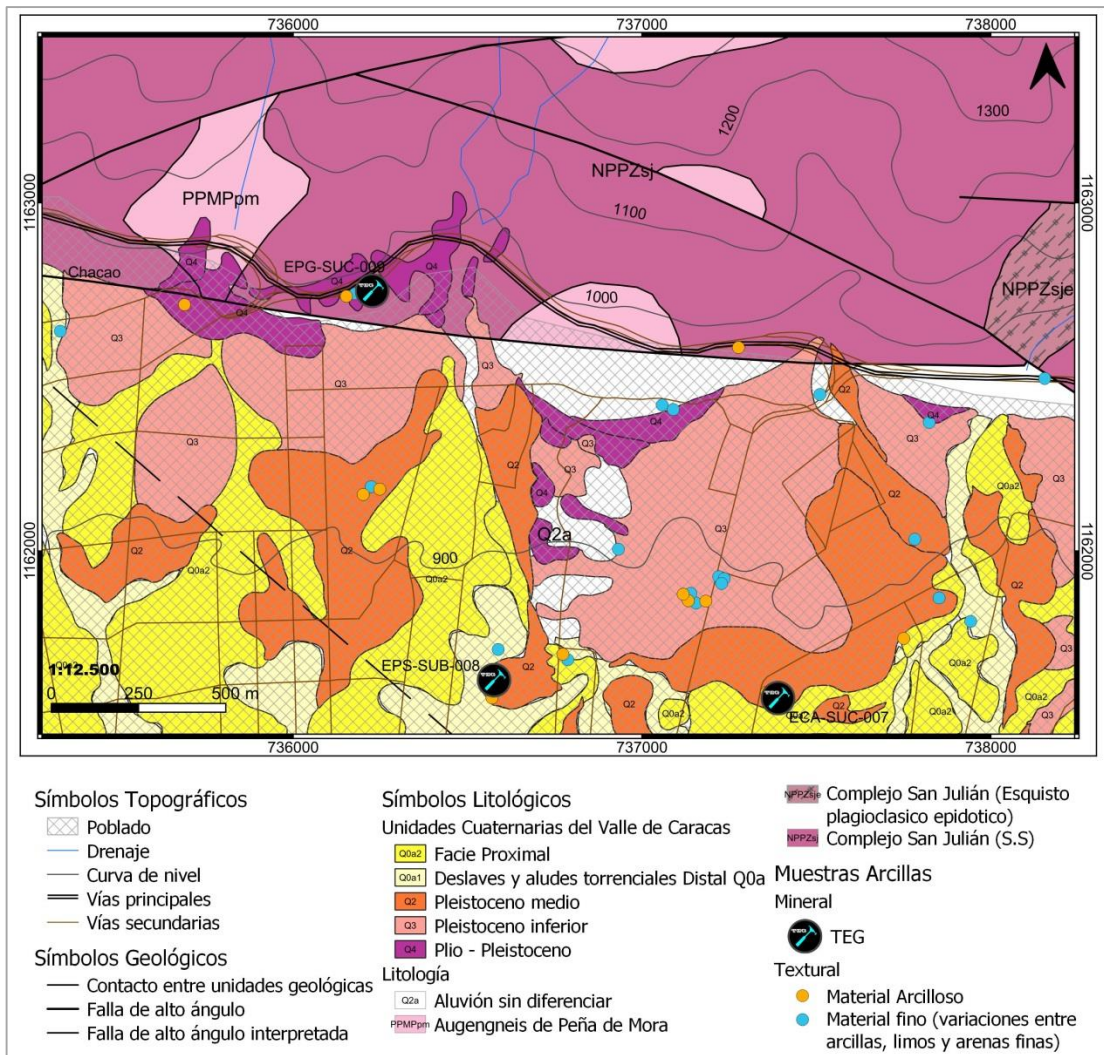


Fig 56. Mapa geológico con la ubicación de ECA-SUC-007 / EPS-SUB-008 / EPG-SUC-009.

**Muestras:** ELA-SUB-011.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Albita, Illita, Muscovita.

Ubicada en el sector La Urbina, pertenece a la unidad cuaternaria Q3 que se describe como abanicos con espesos niveles fangolíticos blanquecinos, intercalados con niveles de explayamientos arenosos del mismo color.

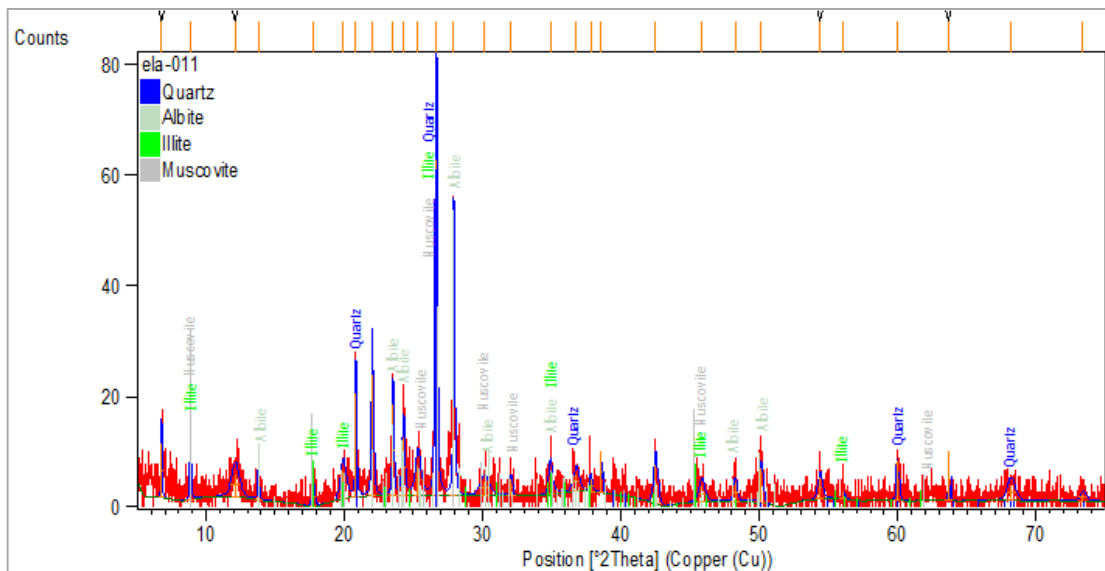


Fig 57. DRX muestra ELA-SUB-011.

La principal y más posible fuente de sedimentos de esta unidad corresponde al Terreno Esquisto Las Mercedes de composición cuarzo-muscovítico-calcítico-grafítico. Otra fuente, un poco más lejana, pero que entra dentro de los mismos sistemas de drenajes aguas arriba y adyacentes a la zona de muestreo, corresponde al Complejo San Julián constituido por esquisto y gneis cuarzo-micáceo-plagioclásico, asociándose con la mineralogía obtenida por DRX. El mineral de illita puede ser producto de la alteración de minerales como la muscovita y la plagioclasa presentes en las unidades.

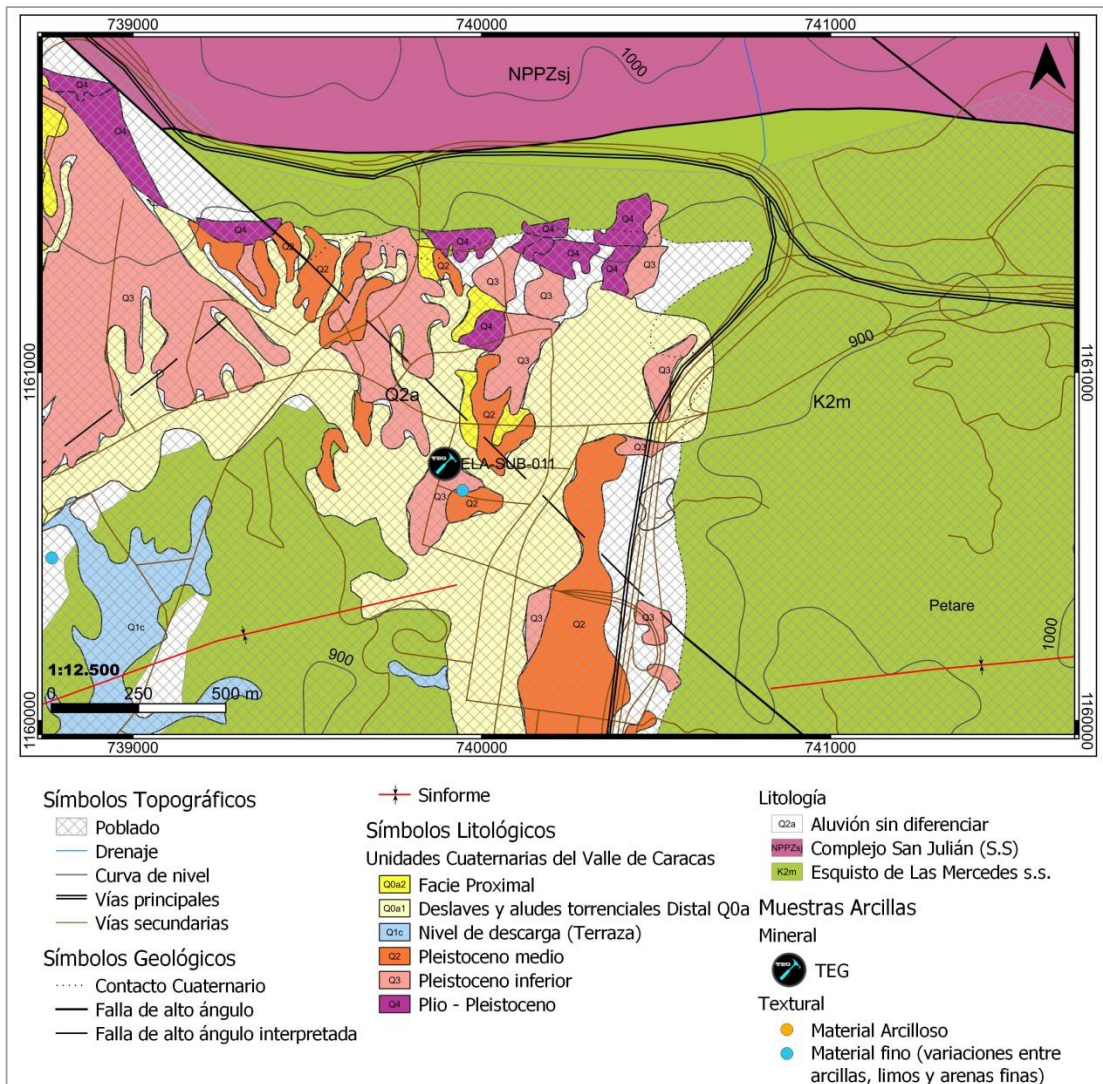


Fig 58. Mapa geológico con la ubicación de ELA-SUB-011.



### V.4.4 Zona Sureste

**Muestras:** SEP-SUC-002 / SEC-SUB-004 / SEA-SUC-005 / SEU-SUC-006.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita / Cuarzo, Grafito, Illita, Muscovita / Cuarzo, Illita, Muscovita / Cuarzo, Grafito, Flogopita, Illita, Muscovita.

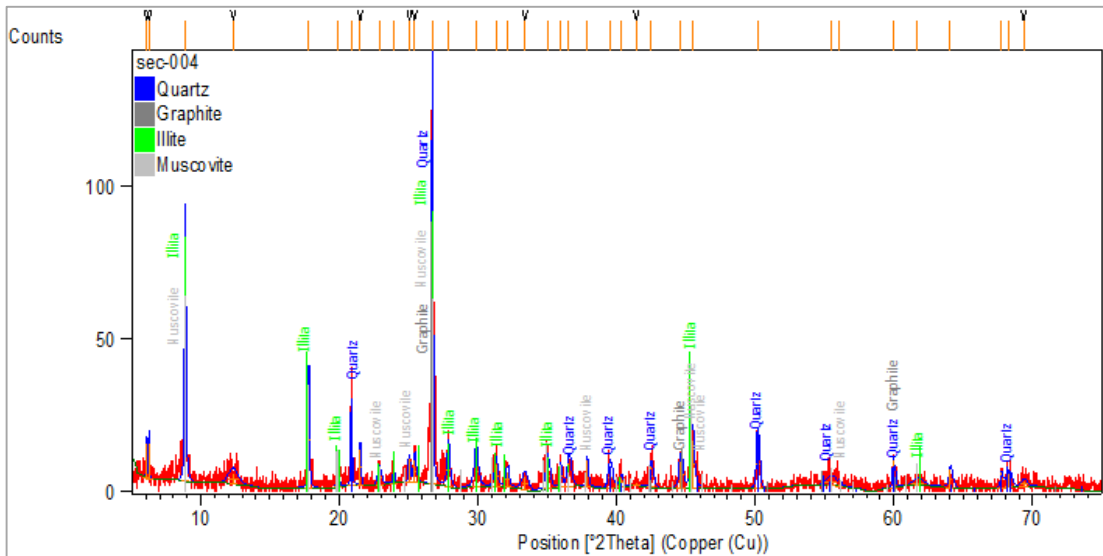


Fig 59. DRX muestra SEC-SUB-004.

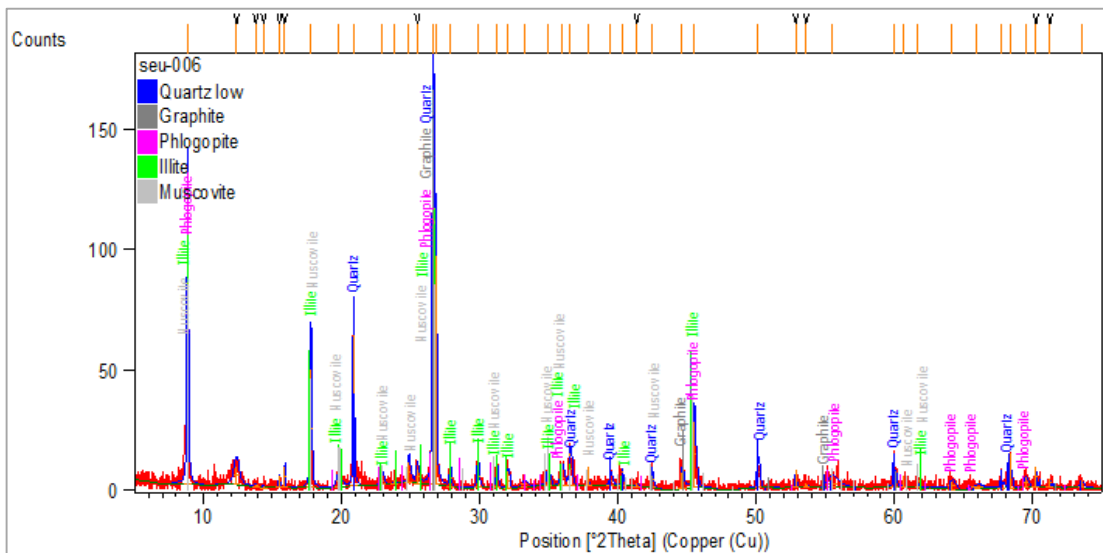


Fig 60. DRX muestra SEU-SUC-006.

Ubicadas entre los sectores de La Trinidad, Colinas de Tamanaco, La Tahona y Alto Hatillo, respectivamente, se encuentran sobre el Terreno Esquisto las Brisas, que está constituido principalmente por esquisto cuarzo-albítico-micáceo, no se descarta interacción de las subunidades de este Terreno, como los del Metaconglomerado de Baruta (metaconglomerado microclínico) y el Mármol de Zenda (mármol dolomítico). La composición mineralógica obtenida a través de DRX se correlaciona con la mineralogía de las unidades geológicas de las zonas en las que se encuentran.

En estas muestras, dado la ubicación y las características de los suelos, es posible que se trate de suelos residuales producto de la degradación de las rocas (neoformación), por efectos de la meteorización; al mismo tiempo, ocasionó la alteración de las plagioclasas y las micas para formar la especie de mineral arcilloso identificada.

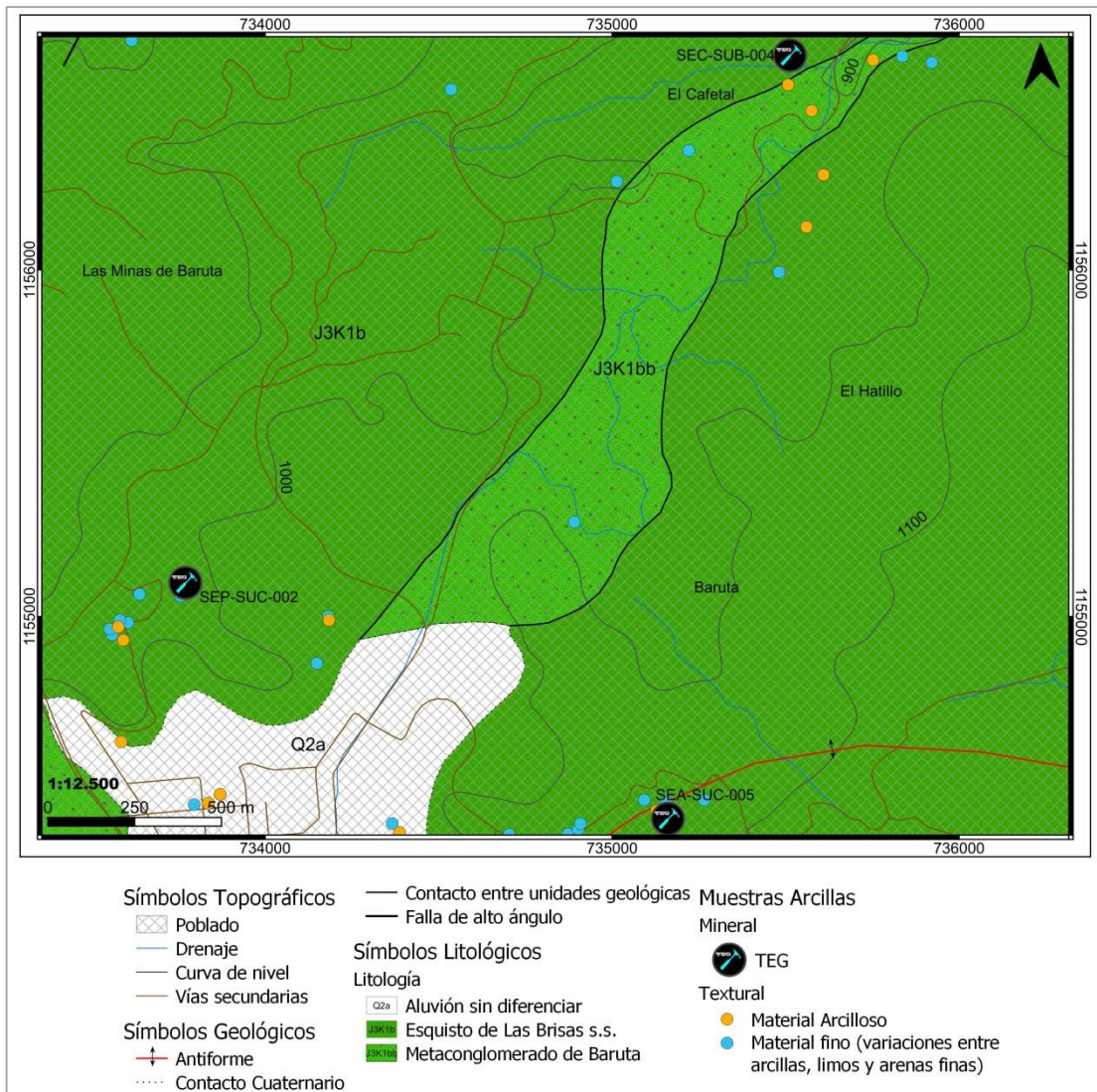


Fig 61. Mapa geológico con la ubicación de SEP-SUC-002 / SEC-SUB-004 / SEU-SUC-006.



**Muestras:** SEC-SUC-007.

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Grafito, Illita-Montmorillonita, Muscovita

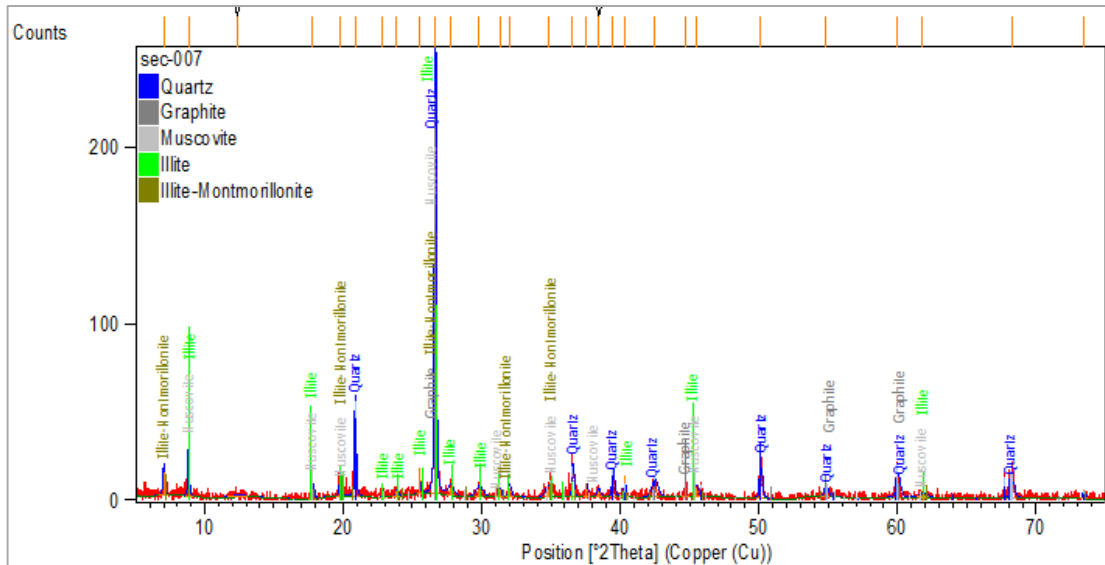


Fig 62. DRX muestra SEC-SUC-007.

La zona de recuperación de la muestra se encuentra en el sector Lagunita Country Club, y está ubicada sobre la unidad cuaternaria sin diferenciar de El Hatillo. Es posible que el aporte de sedimentos más cercano provenga del Terreno Esquisto Las Brisas, en la que su mineralogía se asocia con la identificada por DRX, mientras que los minerales de arcilla presentes pudieron haberse originado por la degradación de la muscovita.

**Muestras:** SET-SUB-008-R

**Mineralogía DRX:** Cuarzo, Muscovita, Alurgita, Illita, Caolinita.

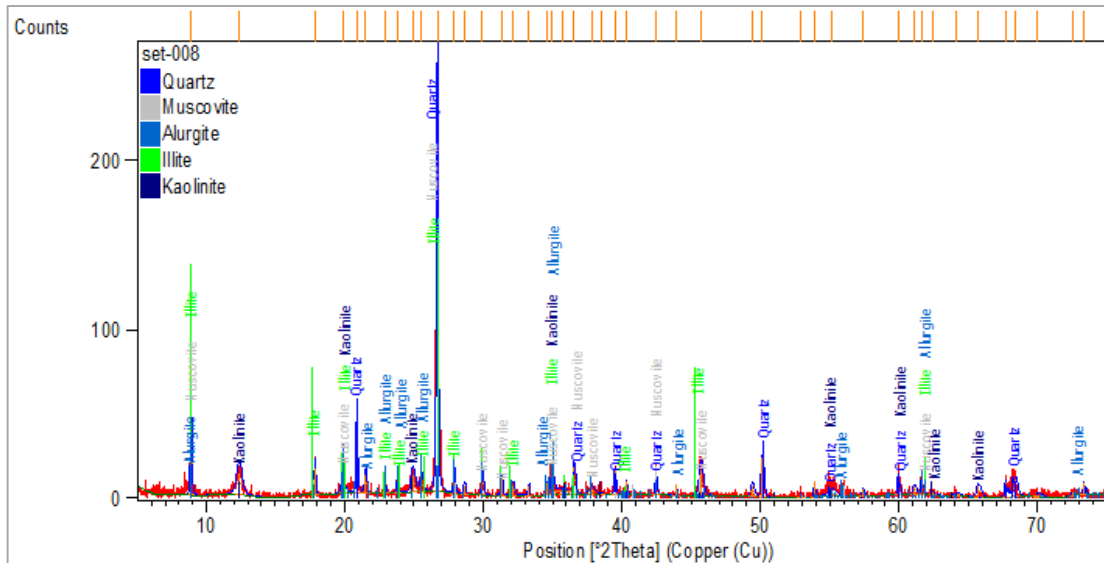


Fig 63. DRX muestra SET-SUB-008-R.

Se ubica en la urbanización Tsumere en El Hatillo, y se encuentra sobre la unidad Metaconglomerado de Baruta (metaconglomerado microclínico), de la cual se asocia la mineralogía obtenida por DRX. Puede tratarse de un suelo residual de formación *in situ*, donde la muscovita y feldespatos presentes sufrieron alteraciones para formar los minerales de arcilla identificados en DRX.

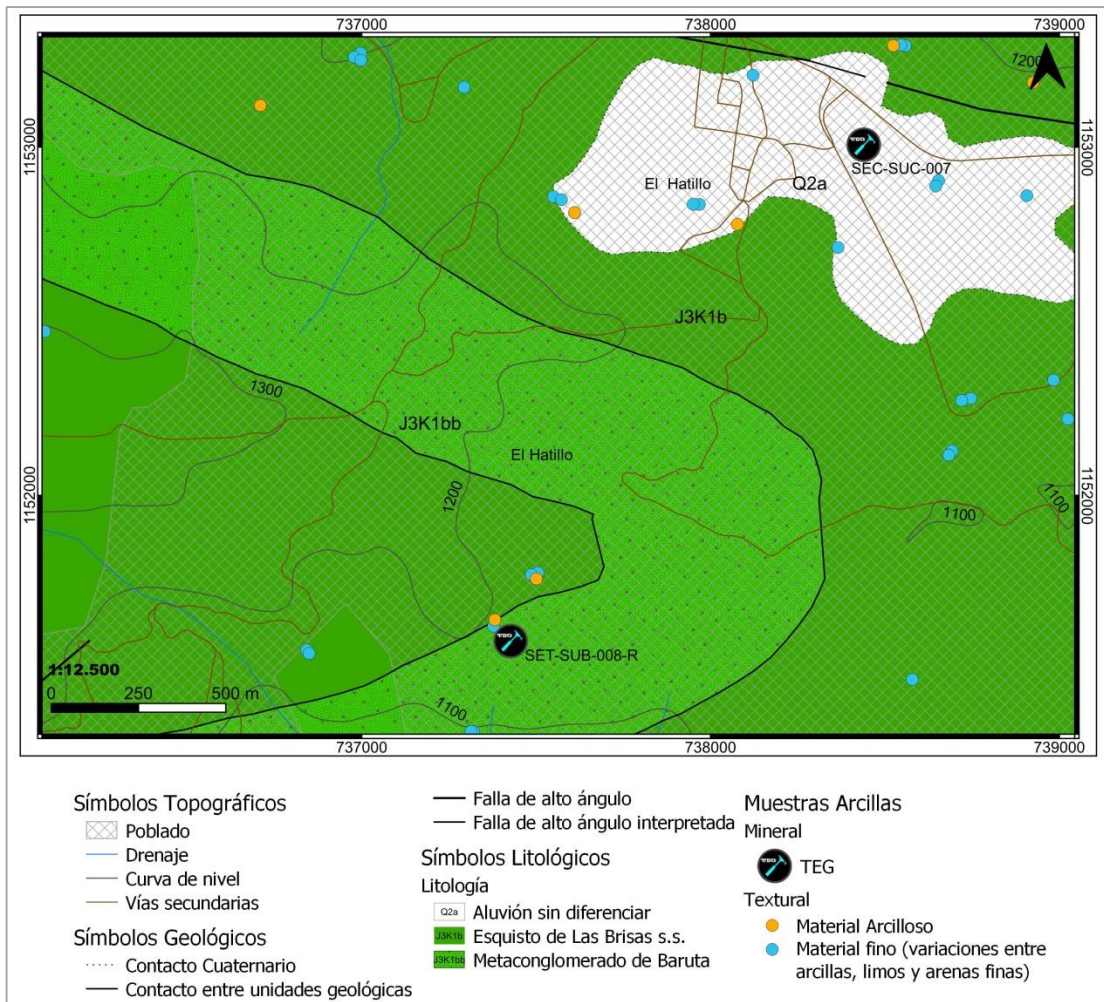


Fig 64. Mapa geológico con la ubicación de SEC-SUC-007 /SET-SUB-008-R.

**Muestras:** SEU-SUB-011.

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

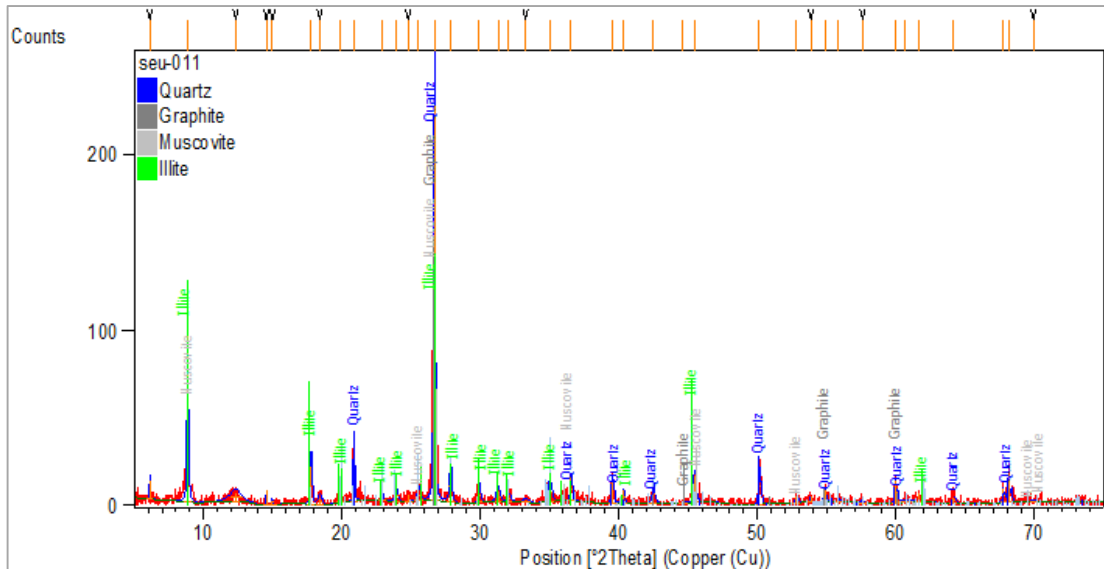


Fig 65. DRX muestra SEU-SUB-011.

Está ubicado en la urbanización Sartenejas, sobre el Terreno Esquisto Las Brisas, de la misma manera que en la mayoría de muestras recuperadas en la zona sureste; la mineralogía se asocia a la de esta unidad, y podría tratarse de un suelo residual, donde los minerales como la muscovita han sufrido alteración para formar el mineral de arcilla de tipo illita.

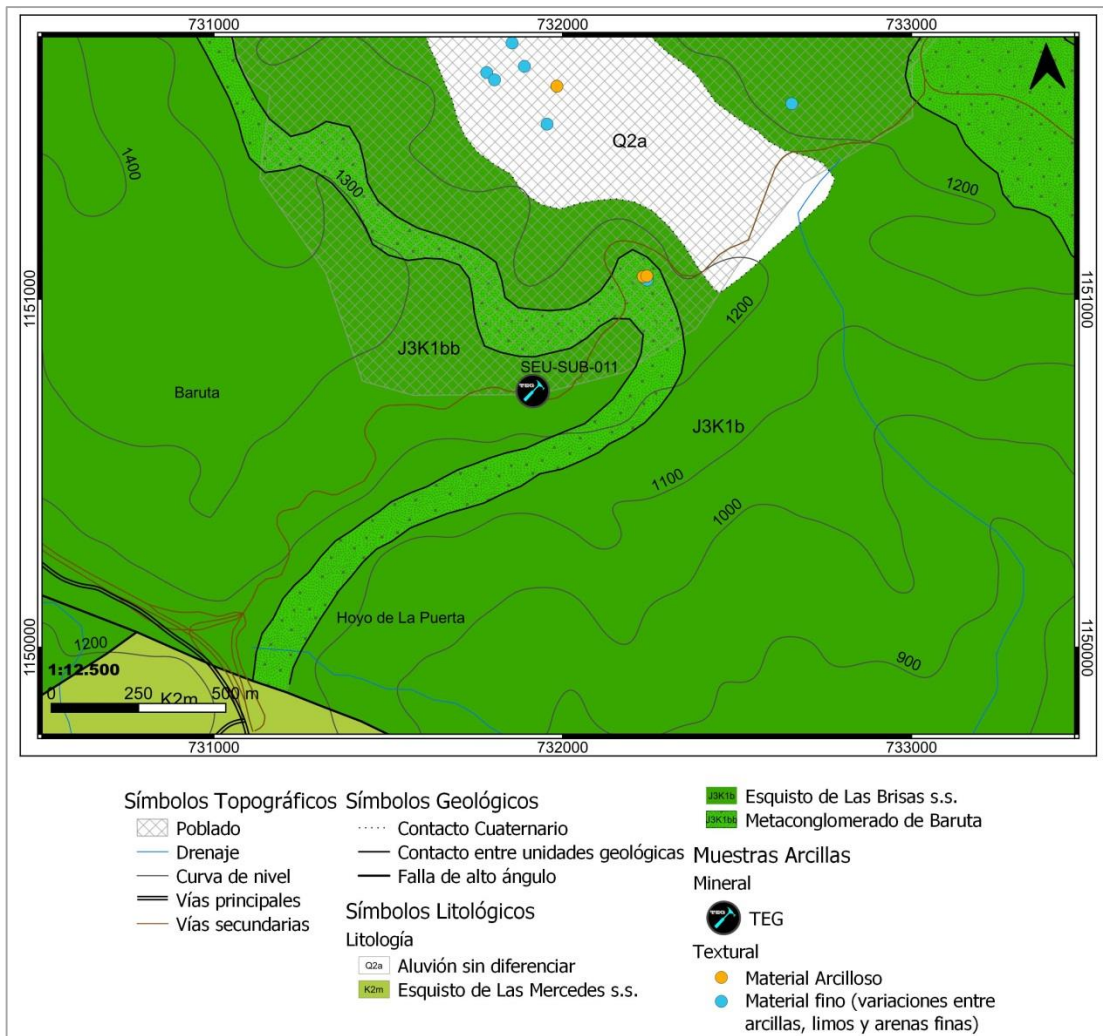


Fig 66. Mapa geológico con la ubicación de SEU-SUB-011.

## V.5 Síntesis general de los minerales de arcilla identificados por DRX

De manera general, el aporte mayoritario para la formación de minerales de arcilla en la zona de estudio, está dominado básicamente por el Terreno Esquisto de Las Mercedes y Terreno Esquisto Las Brisas; este último, con algunas de las subunidades geológicas menores como las del Metaconglomerado de Baruta y Mármol de Zenda. Ambos Terrenos

geológicos aportan minerales principalmente micáceos como la muscovita y plagioclasas tipo albita, buenos para la formación de arcillas.

Otras excepciones y menos mayoritarias corresponden al Terreno Ávila, con las subunidades del Complejo San Julián, Augengneis de Peña de Mora, y algunos cuerpos menores de naturaleza máfica. En éste Terreno, se encuentran plagioclasas y micas como la muscovita, biotita y clorita, que sirven como fuente para la generación de minerales arcillosos como la illita y la vermiculita; esta última, hallada al pie del Ávila en las unidades cuaternarias plio-pleistocenas Q4.

La arcilla predominante fue la illita, encontrándose en la mayoría de las muestras, tanto en los suelos sedimentarios cuaternarios del Valle de Caracas y las unidades cuaternarias sin diferenciar encontradas en la periferia. También fue predominante en suelos residuales o de origen *in situ* (neoformación), que no pertenecen a unidades cuaternarias cartografiadas, sino a los Terrenos anteriormente descritos.

#### **V.6 Potencial de expansión de las arcillas**

De acuerdo a PADRÓN (2010), el espaciamiento basal de 10 ángstroms, para las arcillas del grupo illita, no varía por calentamiento lo que hace que estas arcillas no sean expansivas.

SRODON (1984) describe que en la naturaleza es muy poco probable tener illita pura, encontrándose generalmente con capas mezcladas, generalmente illita-montmorillonita (esmeclita).

Los minerales de la arcilla de capas no mezcladas tienen el mismo tipo de catión en las posiciones entre capas, pero si, por ejemplo, 5 ó 10 capas están unidas por  $K^{1+}$  (Illita), mientras que otras 10 ó 15 están enlazadas por  $Ca^{2+}$  (montmorillonita), el producto es un mineral de la arcilla de capas mezcladas (WEAVER, 1956).

A diferencia de la illita, los minerales del grupo esmectita pueden alojar cationes (Ca y Na) solvatados en la intercapa, lo que hace que el espaciado basal pueda llegar a los 180 angstroms. Esta adsorción de iones solvatados es reversible, lo que lleva a que los suelos ricos en esmectitas sean expansivos (PADRÓN, 2010).

### V.7 Análisis del potencial de expansión de las arcillas estudiadas

Debido a las limitaciones para realizar ensayos glicolados para detectar el potencial de expansibilidad a través del Índice de Srodon, se utilizaron los datos geotécnicos del registro de perforaciones para cada punto donde se tomaron las muestras analizadas, se extrajeron los Índices de Plasticidad, y se usaron los criterios para evaluar cualitativamente el potencial de expansibilidad descrito por GUEVARA & LÓPEZ (2012).

Tabla 13. Potencial de expansibilidad (GUEVARA & LÓPEZ, 2012).

POTENCIAL DE EXPANSIÓN (PE)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
BAJO	$IP \leq 15$
MEDIO	$10 \leq IP \leq 35$
ALTO	$20 \leq IP \leq 55$
MUY ALTO	$IP \geq 35$

Tabla 14. Potencial de expansibilidad en las muestras de estudio.

Zona	Nro	Etiqueta	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice De Plasticidad	Pe	Fuente
<b>OESTE</b>	4	OPB-SUB-004					
	6	ORP-SUB-006	45	27	18		09-0407
	7	OPA-SUB-007					

	7	OPA-SUB-007-D					
	12	OCA-SUB-012	28	21	7		06-1246
	13	OCA-SUB-013	34	21	13		06-1280
<b>SUR</b>	1	SBP-SUB-001	37	21	16		06-1117
	2	SUB-SUB-002	49	25	24		09-0584
	3	SUC-SUB-003	39	22	17		06-1116
	4	SUC-SUB-004					Acero & Dominguez (2005)
	5	SUC-SUB-005					Acero & Dominguez (2005)
	6	SUC-SUB-006					Acero & Dominguez (2005)
	7	SCU-SUB-007	30	22	8		05-0604
	9	SPL-SUB-009	40	20	20		06-0050
	10	SLB-SUB-010	27	15	12		06-1541
	11	SPM-SUC-011	62	26	36		08-0141
	13	SJA-SUB-013	35	20	15		06-0301
	15	SJM-SUB-015	30	20	10		06-1131
	16	SGB-SUC-016	43	26	17		06-0521
<b>ESTE</b>	2	ECH-SUB-002					
	5	ELM-SUB-005	38	18	20		06-1098
	7	ECA-SUC-007	32	22	10		09-0210
	8	EPS-SUB-008					02-0107
	9	EPG-SUC-009	25	16	9		06-1179
	11	ELA-SUB-011	35	16	19		06-0256



<b>SURESTE</b>	2	<u>SEP</u> -SUC-002					
	4	<u>SEC</u> -SUB-004	34	20	14		06-1655
	5	<u>SEA</u> -SUC-005	26	16	10		05-0137
	6	<u>SEU</u> -SUC-006	33	22	11		06-0601
	7	<u>SEC</u> -SUC-007					
	8	<u>SET</u> -SUB-008-R	37	20	17		06-0101
	11	<u>SEU</u> -SUB-011	42	29	13		08-0242

En general, el potencial de expansibilidad para el área de estudio es de bajo a medio, por lo que a *grosso modo* se puede interpretar que la presencia de esmectita que podría acompañar a la illita no es tan representativa; sin embargo, se observan algunas excepciones para la zona Sur de estudio, donde 2 de las muestras presentan potenciales de expansibilidad altos a muy altos.

## **V.8 Discusión e interpretaciones geológicas de la mineralogía descrita en ensayos de DRX recuperados de INVESTI**

### **V.8.1 Tramo Caracas - Los Teques**

En sentido Caracas – Los Teques de la actual carretera Panamericana, se recuperaron, una serie de muestras con minerales de arcilla; la primera de éstas se presume que sea de las Serpentinitas del Complejo Carayaca, este pequeño cuerpo litológico se encuentra al comienzo de la carretera Panamericana. En la muestra, se describen minerales de antigorita, talco y cuarzo, y arcillas illita y clorita, que pudiesen estar asociadas directamente a esta subunidad, en los que procesos de meteorización y alteración química pudieron haber actuado para formar los minerales de arcilla.

Siguiendo en el mismo tramo, hacia Los Teques, se describieron muestras con arcillas de illita principalmente y caolinita, así como feldespato y cuarzo, ubicadas sobre los Terrenos Esquistos de Las Mercedes y Terreno Esquisto Las Brisas, este último con su subunidad Metaconglomerado de Baruta.

### **V.8.2 Tramo Cortada del Guayabo- San Diego- Carrizal- Los Teques**

De manera similar al tramo anterior, los minerales de arcillas predominantes descritos en estas muestras fueron de illita y caolinita, junto a minerales como feldespato y cuarzo. En este tramo se extiende el Terreno Esquisto de Las Mercedes y algunos de sus pequeños cuerpos carbonáticos dispersos. En general, tanto el feldespato como la muscovita de este Terreno pudieron dar origen a las arcillas por degradación geoquímica, formando también suelos residuales.

### **V.8.3 Tramo Caracas - Santa Lucía**

En este tramo, se describieron también minerales de illita y caolinita, sin embargo, se encontraron varias muestras con vermiculita; dichas muestras se ubican sobre la extensión del Terreno Esquisto Las Brisas y en la que afloran también pequeños cuerpos de mármol provenientes de la misma unidad.

### **V.8.4 Otros Sectores**

En la parroquia La Dolorita, específicamente en Canteras Las Marías, se describieron arcillas de illita y caolinita, junto con minerales como calcita y cuarzo. Está ubicada sobre la subunidad Mármol de Zenda, la mineralogía de esta unidad se asocia a la descrita en la muestra.

Entre el sector El Cafetal – El Hatillo, se describieron unas muestras con arcillas de halloysita y caolinita así como minerales de goethita y

gibbsita, todos indicadores de alta meteorización, se encuentran sobre el Terreno Esquisto Las Brisas y en la que por su cercanía también pudo haber tenido influencia el Metaconglomerado (microclínico) de Baruta, subunidad de este mismo Terreno.

Una muestra en Turmerito, cercano a La Mariposa, describe mineral arcilla de illita junto a calcita, dolomita y cuarzo sobre una unidad cuaternaria. El aporte directo y más cercano es el Terreno Esquisto Las Brisas, en la que también podría tener influencia el mármol dolomítico de la subunidad Mármol de Zenda.

En el sector Hoyo de La Puerta se describieron arcillas de illita y clorita, junto a calcita, feldespato y cuarzo. Se encuentra sobre la subunidad Metaconglomerado de Baruta del Terreno Esquisto de Las Brisas. Donde la mineralogía de la muestra puede estar asociada a la de estas unidades.

Se describió mineral de illita, junto con calcita, dolomita y cuarzo, en canteras de la antigua fábrica Cementos La Vega, sin embargo, no se tiene certeza de la ubicación precisa de las muestras, debido a que la fábrica tenía canteras tanto en las adyacencias como en sectores de Antímano. Se presume que se trate de una muestra ubicada en las canteras de las adyacencias de la fábrica en el sector La Vega, zona donde aflora el Terreno Esquisto Las Mercedes, el cual también contiene cuerpos carbonáticos y lentes de mármol.

#### **V.9 Posibilidad de encontrar más minerales de arcillas dentro del área de estudio y cuáles**

Debido a la distribución heterogénea de las unidades cuaternarias que comprenden el Valle de Caracas, la posibilidad de que existan más minerales arcillosos es muy alta. Sin embargo, debido a la distribución geográfica y el aporte de los Terrenos geológicos circundantes hacen que sea muy probable que la mineralogía de las arcillas sea muy similar a la obtenida en el análisis

de las muestras. De manera similar, ocurriría con los suelos residuales que se ubican dentro de estos mismos Terrenos geológicos.

Con el registro de perforaciones realizado para este estudio, en donde se extrajeron alrededor de 800 puntos donde se describen espesores de sedimentos arcillosos (texturalmente), se puede realizar una analogía de la distribución espacial con los resultados mineralógicos obtenidos por DRX.

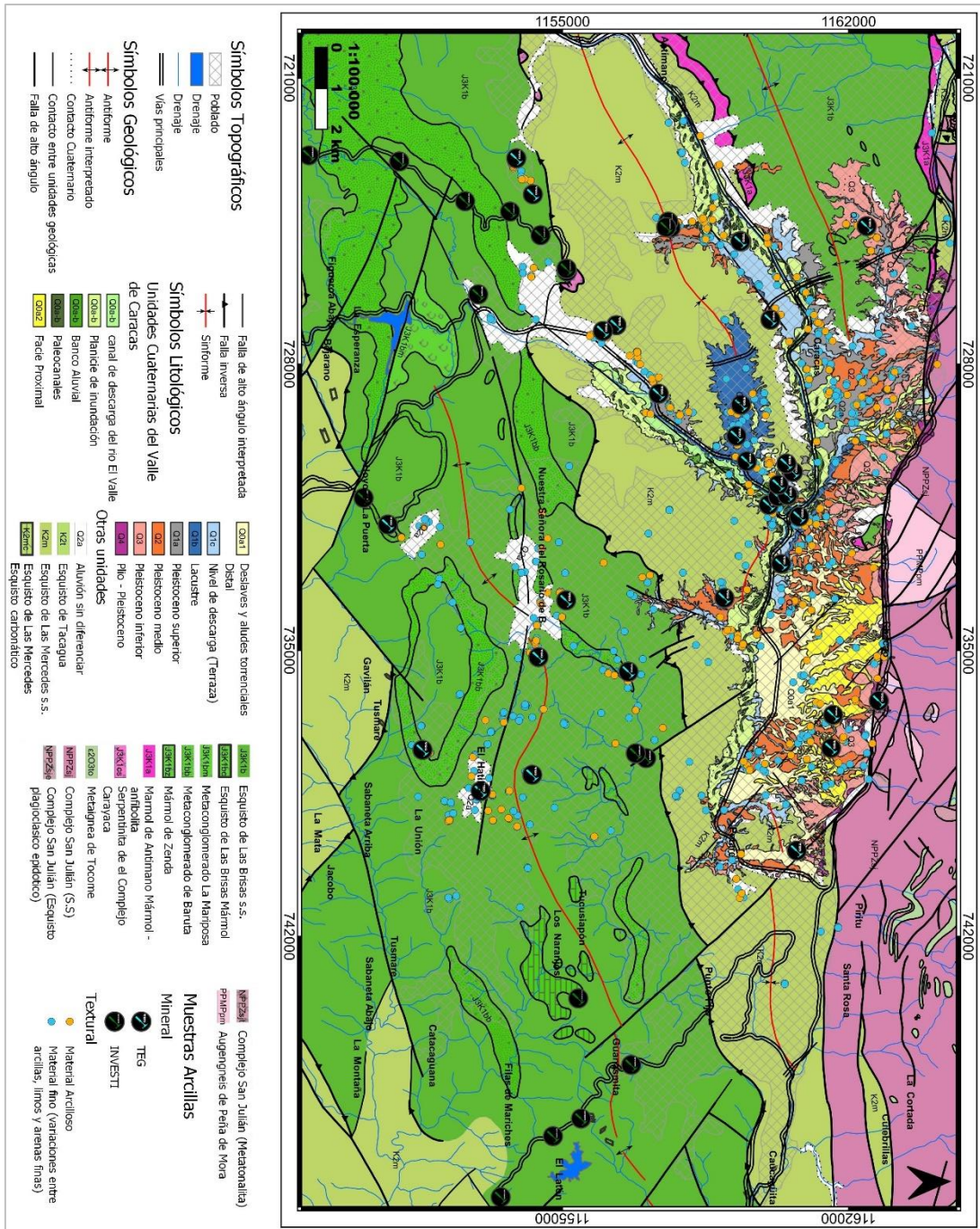


Fig 67. Mapa geológico y total de muestras de arcillas.

## **V.10 Susceptibilidad geotécnica por arcillas expansivas y su baja permeabilidad natural**

La zona de estudio está representada por una alta densidad poblacional, siendo aún más densa en todo lo que conforman las unidades cuaternarias del Valle de Caracas, las cuales como se observa en la fig. 67, representa la mayor cantidad de sedimentos arcillosos. A pesar de esto, la composición de estas arcillas está representada principalmente por el grupo de la illita, el cual corresponde a un mineral de arcilla no expansivo, y de acuerdo a los análisis del potencial de expansibilidad, se determinó que fueron de medios a bajos.

Unas excepciones puntuales se dieron en los sedimentos cuaternarios que comprenden los sectores Prados de María, y los límites entre Bello Monte y Los Chaguaramos, donde el potencial de expansibilidad fue muy alto a alto, respectivamente.

Es conveniente realizar más estudios de los sedimentos cuaternarios arcillosos ubicados al pie de la serranía del Ávila, en la que se identificó, al norte del sector Los Palos Grandes, mineral de vermiculita el cual corresponde a un mineral expansivo.

Por otro lado, una de las características más comunes en las arcillas es su baja permeabilidad natural, lo que ocasiona que los suelos arcillosos sean más pesados producto de su poca porosidad, al mismo tiempo que no drenen ni desequen con facilidad, pudiendo generar problemas durante épocas de invierno en zonas muy urbanizadas. Como se observa en la fig 67, existe una gran densidad de puntos que corresponden a suelos arcillosos, los más notables van desde El Valle-Coche hasta Plaza Venezuela, siguiendo hacia el casco central de la ciudad.

## **V.11 Uso de las arcillas**

En la actualidad, no se encontraron registros de fábricas que usaran las arcillas del área de estudio, pues la mayor parte donde se encuentra este tipo de material está altamente urbanizada. Sin embargo, se tiene evidencia de que en los siglos XIX y XX existían fabricas pequeñas de las que se extraían arcillas para la producción de tejas, adobe, bloques, etc. (ver tabla 7).

Arcillas, como la illita, son comúnmente utilizadas en la alfarería, la caolinita suele utilizarse tanto para la alfarería como para la cerámica, sin embargo, para determinar mejores usos, en este tipo de arcillas, otras propiedades deben ser analizadas.

Según STACCIOLI (1947), pese a existir un gran número de cuerpos arcillosos en Caracas, para la época no se habían encontrado yacimientos de arcilla con los volúmenes suficientes para alimentar una fábrica de alta producción. Aun así, en algunos de los perfiles del registro de perforaciones, se describen grandes espesores de sedimentos arcillosos los más notables ubicados en la cuenca del río El Valle, específicamente en los sectores (Valle-Coche, Prado de María- El Cementerio, Los Chaguaramos), y otros hacia el casco central de la ciudad (El Paraíso, San Martín y Catia).

## CAPÍTULO VI

### SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### VI.1 Sumario

Se analizaron alrededor de 8mil datos de perforaciones geotécnicas, así como una gran cantidad de trabajos académicos de la zona de estudio, de los que se extrajeron puntos de interés con descripciones de material arcilloso. La información obtenida se integró con las unidades geológicas, en conjunto con algunos criterios geomorfológicos, lo que permitió ubicar las zonas donde existe alto potencial de encontrar cuerpos arcillosos en términos texturales. Esto ayudó a ubicar las zonas para la posible toma de muestras, algo necesario, debido a que en la etapa de recopilación bibliográfica se evidenció una gran deficiencia en cuanto a análisis mineralógicos que identificaran los tipos de arcillas presentes en los suelos.

Para la metodología de muestreo se utilizó un manual basado en las normas y metodologías internacionales recomendadas por el Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP) proyecto 259/360 y las orientaciones para muestreo geoquímico de los servicios geológicos europeos (SALMINEN, TARVAINEN, DEMETRIADES, DURIS & FORDYCE, 1998), en su publicación *Geochemical Mapping Field Manual*, que es aplicado a cuencas de drenaje cuya área de captación sean menores a 100 km<sup>2</sup>, coincidiendo con las condiciones de las cuencas hidrográficas de la zona de estudio.

La etapa logística de campo para la toma de las muestras resultó bastante compleja debido a la gran densidad poblacional y urbana que tiene



la ciudad, sumado a las limitaciones que implicó la pandemia de COVID-19; pese a esto, fue posible obtener muestras de gran parte de los puntos previamente seleccionados.

En total, se visitaron 47 zonas y se lograron recuperar 32 muestras representativas y distribuidas a lo largo del área de estudio.

Se recuperaron muestras de sedimentos sobre la mayoría de las unidades cuaternarias del Valle de Caracas, así como de las otras unidades geológicas representadas principalmente por rocas metamórficas, con algunas excepciones de pequeños cuerpos ígneo-metamórficos. En el recorrido, se evidenció la existencia de suelos arcillosos, algunos con mediana a alta plasticidad tras ensayos *in situ*.

Los análisis de DRX de la fracción fina ( $\Phi_4$ ), de las 32 muestras, permitieron identificar mineralógicamente diferentes tipos de arcillas y los demás minerales que componían los sedimentos.

Debido a la distribución heterogénea de las unidades cuaternarias que comprenden el Valle de Caracas, la posibilidad de que existan más zonas con minerales arcillosos es muy alta; sin embargo, debido a la distribución geográfica y el aporte de las unidades geológicas circundantes hace que sea muy probable que la mineralogía de las arcillas sea muy similar a la obtenida en este trabajo.

Toda la información recopilada y generada para este estudio permitió generar una base cartográfica-geológica bastante completa y con una distribución areal representativa de la mayoría de las zonas identificadas como potencialmente arcillosas (mineral y texturalmente).

## VI.2 Conclusiones

Se encontraron minerales de arcilla en 30 de las 32 muestras, que en conjunto con las obtenidas en la etapa de recopilación bibliográfica sumaron un total de 60 muestras, en las que se identificaron arcillas como la illita, halloysita, dickita, vermiculita, caolinita, illita-montmorillonita y clorita.

De manera general, se determinó que el aporte mayoritario para la formación de minerales de arcilla en la zona de estudio, está dominado básicamente por el Terreno Esquisto de Las Mercedes y el Terreno Esquisto Las Brisas; éste último, con algunas de sus subunidades geológicas menores como las del Metaconglomerado de Baruta y Mármol de Zenda. Ambos Terrenos aportan minerales principalmente micáceos como la muscovita y plagioclasas tipo albita, que en condiciones adecuadas son buenos para la formación de arcillas.

Otras excepciones, y menos mayoritarias, correspondieron al Terreno Ávila, con las subunidades del Complejo San Julián, Augengneis de Peña de Mora, y algunos cuerpos menores de naturaleza máfica. En este Terreno se encuentran plagioclasas y micas como muscovita, biotita y clorita, que sirven como fuente para la generación de minerales arcillosos como la illita y la vermiculita; ésta última, hallada al pie del Ávila en las unidades cuaternarias plio-pleistocenas Q4.

La arcilla predominante fue la illita, encontrándose en la mayoría de las muestras, tanto en los suelos sedimentarios cuaternarios del Valle de Caracas, como en las unidades cuaternarias sin diferenciar encontradas en la periferia. También fue predominante en posibles suelos residuales o de origen *in situ* (neoformación), que no pertenecen a unidades cuaternarias cartografiadas, sino a los Terrenos anteriormente descritos. No se descarta la posibilidad de neoformación en los suelos cuaternarios.

Fue abundante el mineral de caolinita, el cual no se identificó en las unidades cuaternarias, pero sí en las demás unidades geológicas.

Respecto al potencial de expansibilidad de las arcillas se determinó que era de bajo a medio, lo que ayudó a interpretar que la presencia de esmectitas (montmorillonita) es poco representativa para la zona de estudio.

Esta información se tradujo en 14 mapas geológicos de arcillas a escala 1:25.000, 1 mapa de pendientes a escala 1:250.000, 1 mapa de registro histórico con antiguas fuentes de material arcilloso en la ciudad de Caracas, así como el proyecto GIS que incluye toda la información vectorial y tablas de atributos.

Por último, se generaron, una serie de tablas en el programa *Excel*, que sirven como base de datos, en las que se incluyó toda la información obtenida a lo largo de la investigación, más los anexos con las planillas utilizadas en la etapa de campo, los diafractogramas de DRX obtenidos en el laboratorio y las fichas con los picos de difracción de las muestras recuperadas de Investi.

## **VI.2 Recomendaciones**

- A fines de ampliar la investigación, se recomienda realizar análisis mineralógicos de los sedimentos que comprenden los sectores de Catia, Centro de Caracas, El Paraíso-La Vega-Montalbán y San Martín, los cuales poseen una importante densidad de puntos descritos como texturalmente arcillosos.
- De forma similar ocurre con los suelos que comprenden las unidades cuaternarias sin diferenciar de Curupao, Sartenejas, Baruta y Tacagua, así como algunas zonas de El Junquito y las áreas deprimidas delimitadas por las cuencas de Qda. Izcaragua, Qda. El Corozo y el río Macarao.

- Es conveniente realizar más estudios de los sedimentos cuaternarios arcillosos ubicados al pié de la serranía del Ávila, en la que se identificó al norte del sector Los Palos Grandes, mineral de vermiculita el cual corresponde a un mineral expansivo.
- Es recomendable verificar la mineralogía de arcillas de los datos obtenidos de Investi, pues las ubicaciones de estos puntos estaban descritas de manera muy relativa, debido a que para la época en que se realizaban los muestreos no existía la tecnología GPS, ni sistemas con información cartográfica completamente desarrollada.
- De igual manera se sugiere realizar ensayos de DRX en muestras (glicoladas y cocinadas a 550°C) con mineral de vermiculita y/o clorita, para obtener una mejor diferenciación. Al mismo tiempo que se recomienda realizar ensayos más precisos que permitan determinar propiedades físicas cómo la plasticidad, expansibilidad, entre otros.
- Para complementar el estudio es importante realizar análisis químicos, como pH, u otros como fluorescencia de rayos X, que permita cuantificar los porcentajes de minerales presentes en las muestras y determinar de mejor manera sus posibles usos.
- En caso de existir altas concentraciones de algún mineral de arcillas de interés económico, se podría proceder a realizar ensayos para determinar los volúmenes de los depósitos, con el propósito de determinar su rentabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

AGUERREVERE, S. ZULOAGA, G. DENGO, G. WEISBORD, N. SEIDERS, V. PICARD, X. PIMENTEL, N. FANTI, O. FRONTADO & VECCHIO, 1986. Mapa Geológico de Caracas. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Dirección de Geología. Caracas.

ACERO, M. & DOMÍNGUEZ, F. 2005. Estudio geológico – geotécnico y evaluación de las condiciones del terreno que constituye el campus de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC). (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DE JAPÓN (JICA) & ALCALDÍA DEL DISTRITO METROPOLITANO DE CARACAS, 2005. *Estudio sobre el plan básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela*. Caracas. 5 mapas.

AGUILAR, I. & CARABALLO, E. 2007. Caracterización geoquímica de los abanicos aluviales del valle de Caracas a partir de pozos en Los Chorros, Sebucán y Parque del Este. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

AMODIO, E. NAVARRETE, R. & RODRÍGUEZ, A. 1997. El Camino de los Españoles. Aproximaciones históricas y arqueológicas al camino real Caracas-La Guaira en la época colonial. Instituto del Patrimonio Cultural. Editorial Arte. Caracas. 179 p.

BARRETO, Y. & GODOY, J. 2018. Evaluación geológica de los depósitos de arcilla ubicados en el municipio Cruz Salmerón Acosta, península de Araya, estado Sucre. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

BARROSO, S. & LANDAETA, M. 2013. Caracterizar geológica y geotécnicamente una zona de Caracas comprendida entre las urbanizaciones Terrazas de las Acacias/Colinas de Santa Mónica y Colinas de Bello Monte/Lomas del Mirador. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

BAVER, ET AL., 1972. Soil Physics Editorial John Wiley & Sons. Inc., Estados Unidos, pp. 61- 69.

CAMPOSANO, L. & MARTÍNEZ, N. 2000. Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las Formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, Edo. Táchira. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

CANTISANO, M. 1989. Estudio geológico y geotécnico de la cuenca de la quebrada Mamera, Distrito Federal. Mem. *VII Congr. Geol. Venezolano*, Barquisimeto, 4: 1047-1069.

CASTRO, D. & RIVERO, W. 2010. Caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la hacienda El Marqués, municipio Zamora, Guatire, estado Miranda. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

DENGO, G. 1951. Geología de la región de Caracas, *Bol. Geol. (Venezuela)*, 1(1): 39-116.

FARFÁN, M. & MARCONI, M. 2008. Caracterización geomecánica para el proyecto del túnel del Sistema Subterráneo Metro de Caracas. Línea 5, Tramo Bello Monte – Chuao (Unefa). (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

FOURNIER, H. 1999. Estudio de los minerales de arcilla en la sección de Agua Blanca- Altagracia de Orituco. Estados Guárico y Miranda. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

FREILE, A. (s.f.). Informe sobre las posibilidades de arcilla e instalaciones de fábricas Hacienda Santo Domingo, El Valle, Departamento Federal. Informe interno. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. 7p.

FUENTES, I. 2012. Caracterización física, química y mineralógica del depósito de arcilla caolinítica del sector Tierra Blanca, Edo. Bolívar, y su evaluación como puzolanas en la industria petrolera. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

GARCÍA DE LA CONCHA, J. 1962. Reminiscencias y costumbres de la vieja Caracas. Editorial Grafos. Caracas. 236 p.

GONZÁLEZ, F. 2017. Estudio mineralógico, químico y ambiental de los sedimentos de la quebrada los Micuyes, estado Mérida, Venezuela. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

GRANDE, S. 2000. Mineralogía para geólogos. Trabajo no publicado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

GRANDE, S. 2002. Guía de Petrología. Trabajo no publicado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

GRATEROL, C. & ARAQUE, J. 1998. Estudio de las propiedades índices de las arcillas del Valle de Caracas. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Católica Andrés Bello.

GUEVARA, E. & LÓPEZ, C. 2012. Determinación y evaluación de las arcillas expansivas y dispersivas en tres localidades al norte de Venezuela, estados Anzoátegui, Falcón y Miranda. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

HERNÁNDEZ, A. 2018. Caracterización geoquímica, mineralógica y fisicoquímica de caolines del estado Bolívar para evaluar sus posibles

aplicaciones en el área de la salud. (Tesis de Maestría). Universidad Central de Venezuela.

HERNÁNDEZ, J. & HERNÁNDEZ, J. 2015. Planificación, supervisión y control de las actividades de saques y canteras de la Fábrica de Insumos 27 de Febrero S. A, con el fin de optimizar la entrega de materiales arcillosos para la elaboración de bloques de arcilla. (Informe de Pasantías). Universidad Central de Venezuela.

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.

LAMBE, T. & WHITMAN, R. 1972. Mecánica de Suelos. Editorial Limusa, México.

LUGO, J. 1986. Los Métodos Geomorfológicos. Revista de Geografía, INEGI, SPP, México. 1 (1): 13-26 p.

LUGO, J. 1988. Elementos de Geomorfología Aplicada: Métodos Cartográficos. Instituto de Geografía (UNAM). México. 123 p.

MANZANO, L. 1951. Crónicas de antaño. Ávila Gráfica, S.A. Caracas. 242 p.

MARTÍNEZ, F. 2012. Caracterización física, química, mineralógica y morfológica de caolín nacional, para su aplicación en sistemas cementantes empleados en pozos petroleros. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

MENÉNDEZ, V. 1966. Tectónica de la parte central de las Montañas Occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol. Caracas, (28):170-317.

MOLA, R. & SÁNCHEZ, M. 2012. Exploración geológica, geotécnica y geofísica del subsuelo de la estación Carrizal de la línea II del Metro de Los Teques,



estado Miranda. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

MUÑOZ, N. & SINGER, A. 1977. Varvas lacustres pre-holocenas con índices de asentamientos y deformaciones tectónicas recientes del Valle de Caracas. I Seminario de Riesgo Geológico. Caracas. 3 p.

OROPEZA, J. & ZAMBRANO, A. 2007. Elaboración de una base de datos de geología urbana para fines de microzonificación sísmica para la ciudad de Caracas. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

OSTOS, M. 1990. Evolución tectónica del margen Sur-Central del Caribe basado en datos geoquímicos. *Geos*, Caracas, (30): 1-294.

PRIETO, G. & ESPINOSA, A. 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.

PADRÓN, A. 2010. Caracterización mineralógica de suelos arcillosos en tres localidades tramo Elorza - Guasualito, carretera Falcón – Zulia y Ciudad Universitaria de Caracas. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

RIVERO, M. 1962. Stratigraphic aspects of the mineralogy. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo (AVGMP). Vol. 5 N10.

RIVERO, M. 1964. Contribución al estudio de productos de desintegración de las rocas de la Cordillera de la Costa. *GEOS* N11. PP27-34.

ROMERO & BARRIOS, 2003. Las Arcillas: Propiedades y Usos. Universidad Complutense, Madrid.

SALCEDO, K. 2018. Caracterización hidrogeológica del acuífero aluvial ubicado entre las quebradas Chacaíto y Sebucán, región noreste del Valle de Caracas. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

SALMINEN, R., TARVAINEN, T., DEMETRIADES, A. DURIS, M. & FORDYCE, E. 1998. Foregs. Geochemical Mapping Field Manual. Geological Survey of Finland, Guide 47, Espoo.

SÁNCHEZ, Y. 2019. Integración geológica de la región comprendida entre la Guaira, Caracas y Charallave. Estados Vargas, Miranda y Distrito Capital. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

SCKOOG ET AL., 1992. Fundamentos de Química Analítica.

SCREMIN, L. 2019. Caracterización mineralógica y parámetros geotécnicos de arcillas venezolanas como fuente de lodo bentonítico. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

SINGER, A. (1977). Inventario y diagnóstico geotécnico aplicado a sectores urbanos. V Congreso Geológico de Venezuela. Tomo IV. Caracas. Pp. 1899. Pg. 1700-1742.

SINGER, A. & OROPEZA, J. 2011. Propuesta geológica de microzonas sísmicas para la ciudad de Caracas. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 26, N° 2, pp. 5–6.

SINGER, A. ZAMBRANO, A. OROPEZA, J. & TAGLIOFERRO, M. 2007. Cartografía de las unidades geológicas cuaternarias del Valle de Caracas 1:25.000. IX Congreso Geológico de Venezuela. Caracas.

SRODON, J. 1984. Precise identification of illite/smectite interstratification by X-ray Powder Diffraction. Clays and clay minerals, 28 (6), 401-411.

SRODON, J. 1984. X-ray diffraction of illitic materials. Clays and clay minerals, 17: 23-39.

STACCIOLI. (FIRMA), 1947. Alfarería Mecánica. Corporación Venezolana de Fomento. Inédito. 9 p.

TAYE, M. SIMANE, B. SELSSIE, Y, ZAITCHIK, B. & SETEGN, S. 2018. "Analysis of the spatial variability of soil texture in a tropical highland: The case of the Jema Watershed, Northwestern Highlands of Ethiopia" *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15, no. 9: 1903.

Urbani, F. 1988. El gneis de Cabriales, Carabobo. Venezuela. Jornadas 50 Aniversario Escuela de Geología (UCV, Caracas).

URBANI, F. 2012. La Cordillera de la Costa de Venezuela: Evolución de su conocimiento geológico desde el siglo XVI al XXI. Caracas.

URBANI, F. & OSTOS, M. 1989. El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela. *Geos, UCV, Caracas*, (29): 205-217.

URBANI, F. & RODRÍGUEZ, J. 2004. Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS. Caracas. 146p.

VALERY, R. 1978. La Nomenclatura Caraqueña. Ernesto Ermitaño Editor. Caracas, 406 p.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L. 2002. Ingeniería Geológica. Editorial Prentice-Hall, México.

WEAVER, C. 1956. The Clay Petrology of Sediments. Estados Unidos.

WEHRMANN, M. & SINGER, A. 1977. Guía de la Excursión Geológica del Valle de Caracas. Memoria V Congreso Geológico Venezolano. Tomo V. Caracas, Venezuela.

ZAMBRANO, C. 2007. Caracterización y mapeo de la meteorización de la zona: El Hatillo al sureste de Caracas. (Trabajo Especial de Grado). Universidad Central de Venezuela.

## **ANEXO A**

Ver archivo adjunto a este documento

### Mapas temáticos y Tablas de datos

Mapa de pendientes

Mapa de registro histórico

Mapa con el total de puntos de perforaciones revisados

Mapa de zonas donde se observa material fino (variaciones entre arcillas, limos y arenas finas)

Mapa de zonas con porcentajes importantes de material arcilloso

Mapa de zonas con posibilidad de muestreo

## ANEXO B

Reportes de los puntos muestreados en campo y registro fotográfico

Tabla 1. Zona Oeste

ETIQUETA	PROF. INTERVALO DEL MUESTREO (cm)	TEXTURA (ESTIMACIÓN VISUAL)	DESCRIPCIÓN EN CAMPO	PLASTICIDAD <i>IN SITU</i>
OPB-SUB-004	30-40		Se observan raíces en los primeros 20cm, presencia de frag de esquistos muscovíticos cuarcíticos. Fragmentos de cuarcita. Se sospecha material de relleno.	B



Foto 1. Zona de muestreo de OPB-SUB-004.

ORP-SUB-006	30-40		Muestra en talud 30° por corte de carretera. Primeros 15 cm abundantes hojas y raíces, presencia de clastos entre 1-7cm, clastos de esquistos muscovítico cuarzosos. Sedimentos marrón parduzco.	C
-------------	-------	--	--	---



Foto 2. Zona de muestreo de ORP-SUB-006.



OPA-SUB-007	30-50		Primeros 15 cm abundantes hojas y raicillas, suelo homogéneo. Marrón oscuro.	D
-------------	-------	--	--	---

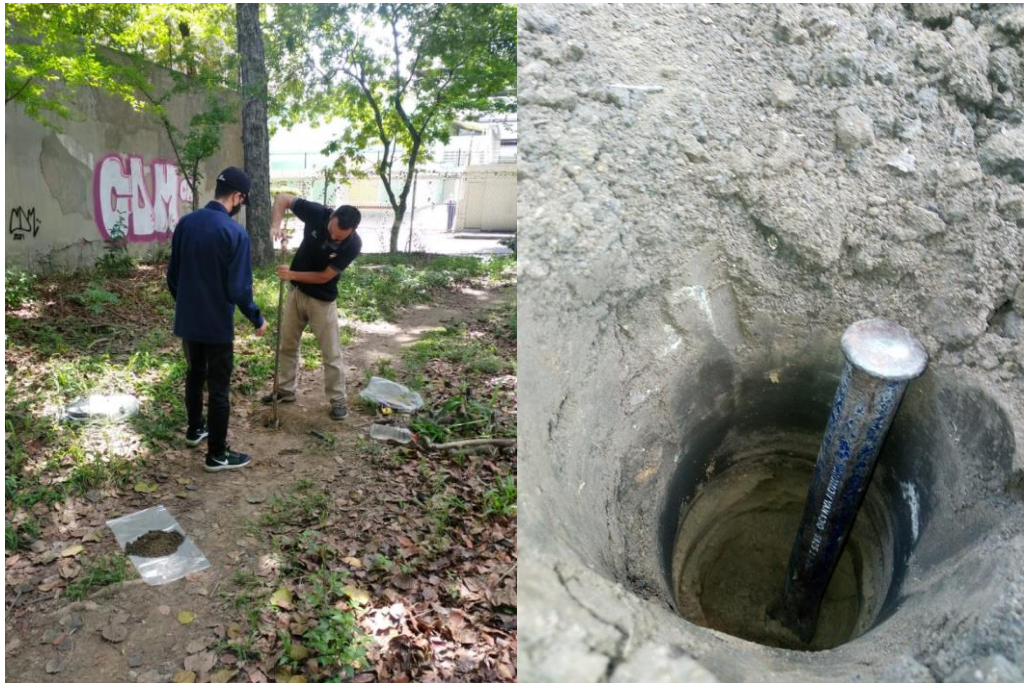


Foto 3. Zona de muestreo de OPA-SUB-007.

OPA-SUB-007-D	20-40		Primeros 15 cm abundantes hojas y raicillas, suelo homogéneo. Marrón parduzco.	D
---------------	-------	--	--	---

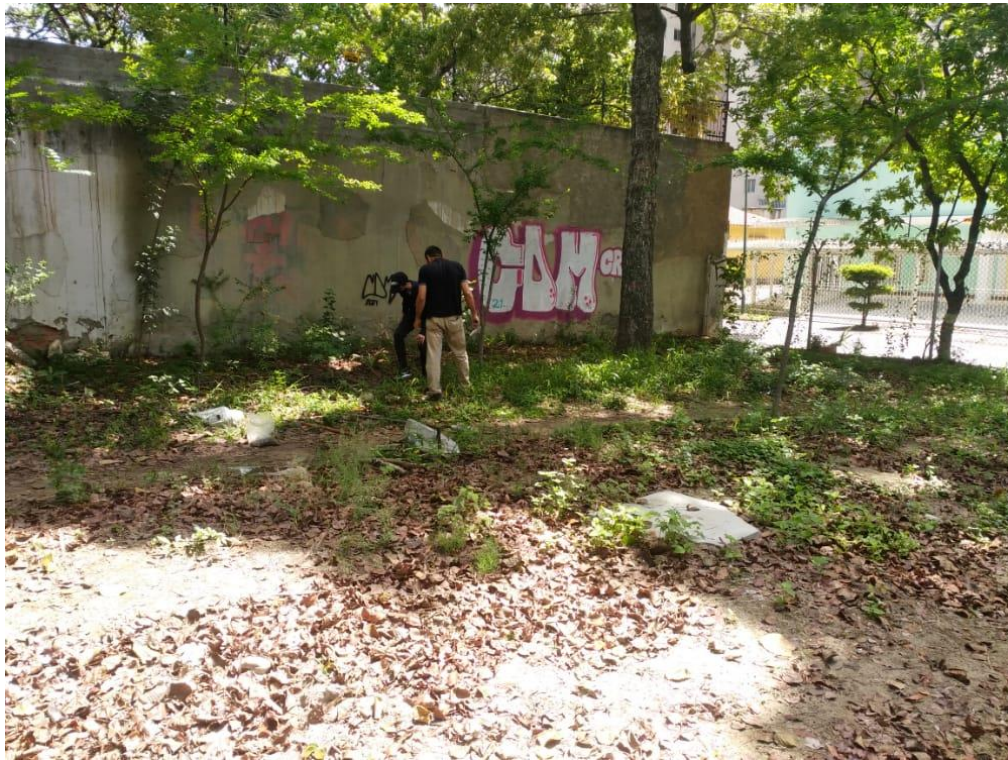


Foto 4. Zona de muestreo de OPA-SUB-007-D.



OCA-SUB-012	25-40		Primeros 15cm abundantes clastos de esquisto de 1-2cm, luego de los 25cm los clastos son más pequeños. Se observa una elevada meteorización. Naranja-marrón.	C
-------------	-------	--	--	---



Foto 5. Zona de muestreo de OCA-SUB-012.

OCA-SUB-013	35-45		<p>En superficie se observan huellas de desecación. Primeros 15 cm, material de relleno. Abundantes fragmentos de esquistos altamente meteorizados de 2-5 cm, a mayor profundidad se observa mayor contenido de grafito en el esquisto y fragmentos de filita. Sedimento color marrón.</p>	D
-------------	-------	--	--	---



Foto 6. Zona de muestreo de OCA-SUB-013.



Tabla 2. Zona Sur.

ETIQUETA	PROF. INTERVALO DEL MUESTREO (cm)	TEXTURA (ESTIMACIÓN VISUAL)	DESCRIPCIÓN EN CAMPO	PLASTICIDAD <i>IN SITU</i>
SBP-SUB-001	30-45		En los primeros 10cm grandes clastos de esquistos micáceo (2-5cm). Relleno. Luego de los 15cm, clastos más pequeños. Color del sedimento marrón rojizo.	C



Foto 7. Zona de muestreo de SBP-SUB-001.

SUB-SUB-002	35-45		Muestra tomada en isla de baja altura en el estacionamiento. Primeros 20cm relleno. Clastos de 1-5 mm. Luego de los 25cm suelo <i>in situ</i> , altamente meteorizado de color rojizo a naranja.	C
-------------	-------	--	--	---



Foto 8. Zona de muestreo de SUB-SUB-002.



SUC-SUB-003	45-55		Capa vegetal de 10cm, presencia de clastos de esquisto micáceo de color gris, se observan lentes de limo/arcilla. Alta meteorización. Sedimento color naranja.	C
-------------	-------	--	--	---



Foto 9. Zona de muestreo de SUC-SUB-003.

SUC-SUB-004	50-65		Gran cantidad de hojas en superficie y raíces hasta los 40cm, fragmentos de cuarcita y esquisto altamente meteorizado (1-3cm). Color de los sedimentos marrón rojizo.	D
-------------	-------	--	---	---



Foto 10. Zona de muestreo de SUC-SUB-004.

SUC-SUB-005	50-65		Primeros 25 cm material de relleno. Capa HA color marrón. Cambia a color naranja-rojizo a los 40 cm HB, presencia de clastos de esquisto y cuarzo.	B
-------------	-------	--	--	---



Foto 11. Zona de muestreo de SUC-SUB-005.

Observaciones: Se aleja varios metros de la zona de muestreo original (Balancines de Ing, UCV) pues luego de haber excavado más de 60cm solo había material de relleno "piedra picada" mezclada con arenas.



SUC-SUB-006	35-45		Pequeño afloramiento por corte. Suelo marrón oscuro con abundantes raicillas y fragmentos de esquistos (1-2cm) en los primeros 20cm. Color más naranja y abundantes óxidos con clastos más pequeños luego de los 30cm.	B
-------------	-------	--	--	---



Foto 12. Zona de muestreo de SUC-SUB-006.

Observaciones: El punto de muestreo se aleja varios metros del dato original, debido a que no fue posible extraer muestra de allí por la gran profundidad del material de relleno ("piedra picada" mezclada con arenas), luego de haber excavado más de 50 cm aún no se conseguía el suelo *in situ*.



SCU-SUB-007	30-40	Muestra tomada en pequeño afloramiento por corte de carretera, lateral al Hospital Clínico, se apreciaron fragmentos de cuarzo y esquistos, este último altamente meteorizado. Color de la muestra amarillento a naranja.	D
-------------	-------	---	---



Foto 13. Zona de muestreo de SCU-SUB-007.

Observaciones: La zona original para el muestreo no se pudo tomar por ser el espesor de relleno muy profundo, posiblemente por las construcciones de las edificaciones allí ubicadas, se decidió tomar la muestra varios metros más alejada, en un lugar en el que se veía aflorando suelo *in situ* por corte de carretera.

SPL-SUB-009	45-55		<p>Primeros 10cm de raíces y relleno. A partir de los 20cm, sedimentos homogéneos color naranja, suave al tacto. No se aprecian fragmentos de roca.</p>	E
-------------	-------	--	---	---

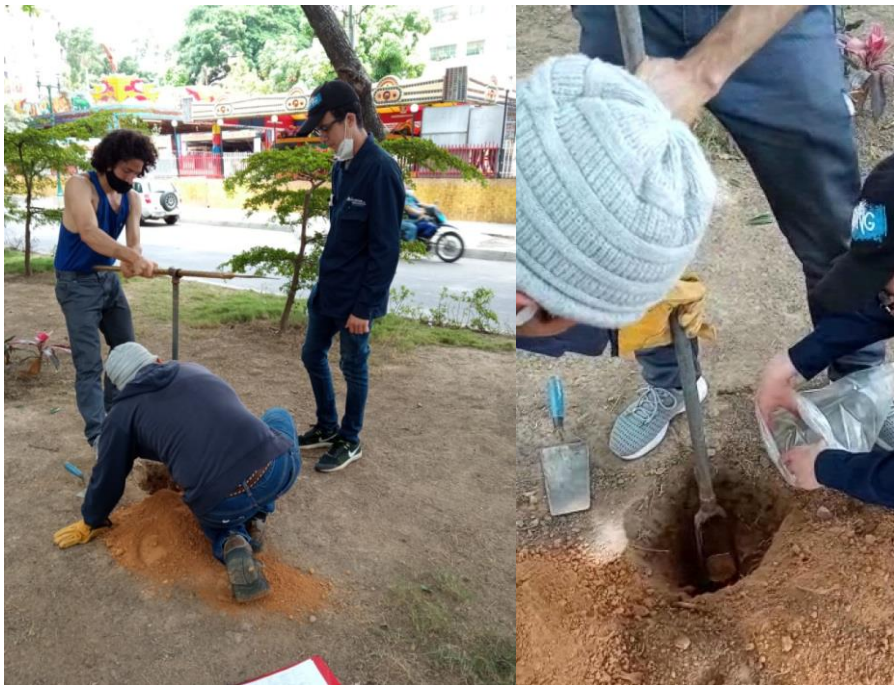


Foto 14. Zona de muestreo de SPL-SUB-009.

Observaciones: Se tomó la muestra varios metros alejada del punto original debido a que la zona estaba cercana a la estación del Metro y estructuras de ventilación del mismo. Para evitar material de relleno, producto de grandes movimientos de suelo por dichas construcciones.

SLB-SUB-010	40-50		Primeros 20cm, material de relleno. Abundantes raíces. Suelo consolidado, duro. Fragmentos de curzo y esquisto (1cm). Alta meteorización. Color naranja rojizo	C
-------------	-------	--	--	---



Foto 15. Zona de muestreo de SLB-SUB-010.

Observaciones: El punto de muestreo se aleja varios metros del punto original, debido a la imposibilidad de tomar muestras allí, debido a que la zona está completamente pavimentada.



SPM-SUC-011	1,5m de profundidad (excavación para tuberías), 60-70cm, diagonal a las paredes de la excavación.	Se aprovechó que en la zona de muestreo se estaba haciendo una gran excavación para arreglar tuberías. En las paredes del corte, a más de 1,5m de profundidad, se realizó una excavación secundaria en diagonal para extraer la muestra, relativamente homogénea de color rojizo oscuro, muy húmeda, con alta plasticidad en ensayo manual.	E
-------------	---	---	---



Foto 16. Zona de muestreo de SPM-SUC-011.

SJA-SUB-013	40-50		Suelo bastante compacto, se encontró material de relleno hasta los 30cm. Clastos pequeños, se observan sedimentos de arena y otros más finos, color marrón rojizo oscuro.	D
-------------	-------	--	---	---



Foto 17. Zona de muestreo de SJA-SUB-013.

SJM-SUB-015	40-50		Se observan esquistos descompuesto, por alta meteorización, de color gris y naranja, gran cantidad de estos clastos de 1-3cm. Sedimentos de textura muy arenosa de color marrón rojizo.	C
-------------	-------	--	---	---



Foto 18. Zona de muestreo de SJM-SUB-015.



SGB-SUC-016	50-70		<p>Materia orgánica color negruzco los primeros 10cm.          Textura relativamente homogénea, plasticidad media al ensayo manual, pequeños clastos de 5mm, sedimentos muy finos y de color marrón oscuro, bastante húmedo en todo el intervalo.</p>	E
-------------	-------	--	---	---



Foto 19. Zona de muestreo de SGB-SUC-016.



Tabla 3. Zona Este

ETIQUETA	PROF. INTERVALO DEL MUESTREO (cm)	TEXTURA (ESTIMACIÓN VISUAL)	DESCRIPCIÓN EN CAMPO	PLASTICIDAD <i>IN SITU</i>
ECH-SUB-002	40-50		Primeros 10cm de asfalto mezclado. Subyacente suelo altamente meteorizado color naranja y bandeamientos de tonos rosados y amarillentos, fragmentos de esquisto descompuesto, muy plástico y compacto en ensayo manual.	E



Foto 20. Zona de muestreo de ECH-SUB-002.

ELM-SUB-005	40-50	<p>En los primeros 15cm suelo contaminado con relleno, fragmentos de raíces.</p> <p>Subyacente se encontraron clastos pequeños de cuarzo, y otros fragmentos de roca de 5-1mm, sedimentos de textura arenosa con cierto porcentaje de finos. Color pardo.</p>	D
-------------	-------	---	---



Foto 21. Zona de muestreo de ELM-SUB-005.

ECA-SUC-007	50-60		Capa de piedra picada de 15cm, se observa material de relleno hasta los 300cm, subyacente sedimentos color marrón-rojizo con clastos pequeños de 0,5-1cm. Textura de sedimentos arenosa y con cierto porcentaje de finos.	B
-------------	-------	--	---	---



Foto 22. Zona de muestreo de ECA-SUC-007.



EPS-SUB-008	50-60		Primeros centímetros de raíces, suelo de color marrón oscuro, se mantiene constante el color, presencia de clastos pequeños de 0,5-2mm. Textura de los sedimentos arenosa con cierto porcentaje de finos. Se sospecha material de relleno.	B
-------------	-------	--	--	---



Foto 23. Zona de muestreo de EPS-SUB-008.

EPG-SUC-009	55-65 en diagonal al corte de carretera. A 1,8m de la superficie		<p>Se tomó la muestra en un corte de carretera a 1,8m desde la superficie, en la pared del corte, donde se observaba aflorando partes de esquistos altamente meteorizado con foliaciones de alto ángulo de buzamiento, color blancuzco. En la mayor parte del afloramiento se comporta como arcilloso con arena fina de color naranja claro a rojizo.</p>	D
-------------	--	--	---	---



Foto 24. Zona de muestreo de EPG-SUC-009.

ELA-SUB-011	45-55		Pequeño afloramiento al pie de la calle. Primeros 20cm color naranja claro, abundantes fragmentos de cuarzo de diversos tamaños. La textura mayoritaria del suelo es de arena fina color naranja.	C
-------------	-------	--	---	---



Foto 25. Zona de muestreo de ELA-SUB-011.



Tabla 4. Zona Sureste.

ETIQUETA	PROF. INTERVALO DEL MUESTREO (cm)	TEXTURA (ESTIMACIÓN VISUAL)	DESCRIPCIÓN EN CAMPO	PLASTICIDAD <i>IN SITU</i>
SEP-SUC-002	35-45		Muestra en corte de carretera, se observan fragmentos de esquisto muy meteorizado, presencia de oxidos, micas y cuarzo. Textura de los sedimentos arenosa con cierto porcentaje de finos, color naranja.	B



Foto 26. Zona de muestreo de SEP-SUC-002.



SEC-SUB-004	40-50		<p>Primeros 10cm abundantes raíces sedimentos de color marrón. Se observan fragmentos de esquistos, alto contenido de micas, cericita con textura sedosa, óxidos y grafito. El promedio de tamaño de estos clastos es de 2-8mm. Sedimentos de textura arenosa con cierto porcentaje de finos. Color naranja claro.</p>	C
-------------	-------	--	--	---



Foto 27. Zona de muestreo de SEC-SUB-004.

SEA-SUC-005	45-55	<p>La muestra se tomó en un afloramiento por corte de la construcción en los laterales del Liceo. Se observaron fragmentos de esquistos altamente meteorizados, cuarcita. La textura de los sedimentos es mayoritariamente arenosa de color naranja. Se tienen dudas de si realmente el material es <i>in situ</i> o si es producto de movimientos de terreno hechos por las construcciones realizadas en la parte más elevada del terreno a varias decenas de metros. Siendo este material de la misma zona, pero removido.</p>	C
-------------	-------	--	---



Foto 28. Zona de muestreo de SEA-SUC-005.



<p><u>SEU-SUC-006</u></p>	<p>55-65</p>	<p>Muestra tomada de un corte de carretera con alta pendiente, en la superficie se aprecia un patrón similar a huellas de desecación, color de los sedimentos naranja relativamente homogéneo. Se observa alta meteorización. Presencia de fragmentos de esquisto micáceo color naranja, óxidos. La textura es arenosa con cierto contenido de finos.</p>	<p>C</p>
---------------------------	--------------	---	----------



Foto 29. Zona de muestreo de SEU-SUC-006.

SEC-SUC-007	50-60		Horizontes bien diferenciados. Primeros 10cm de color marrón oscuro, abundante vegetación y raíces. Entre los 10-30cm color naranja abundantes clastos de esquistos altamente meteorizados, micáceos-grafitosos y tonos rosados y salmón. Luego de los 40cm, suelo color marrón de textura muy fina. Húmeda y pastosa.	D
-------------	-------	--	--	---

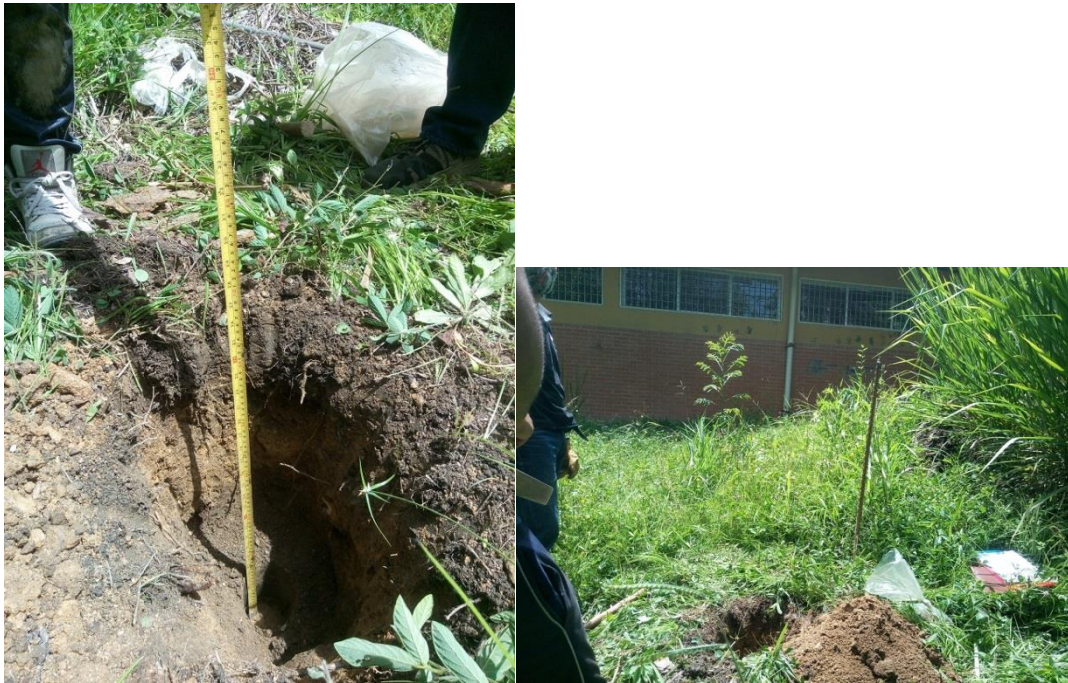


Foto 30. Zona de muestreo de SEC-SUC-007.

SET-SUB-008-R	45-55		Horizontes diferenciados, primeros 15cm textura arcillosa de color marrón oscuro, presencia de raíces, subyace material más arenoso de color naranja claro a amarillento.	D
---------------	-------	--	---	---



Foto 31. Zona de muestreo de SET-SUB-008-R.

Observaciones: No se logró acceder a la zona original prevista para el muestreo debido a la alta seguridad que tiene la urbanización. Se tomó la muestra dentro de la urbanización, pero a muchos metros de distancia del punto original, por lo que las condiciones litológicas pueden haber variado considerablemente.



SEU-SUB-011	40-50	<p>Primeros 10cm de capa orgánica con raíces marrón oscuro muy pastosa.</p> <p>Subyacen sedimentos de textura arcillosa de color naranja oscuro; se aprecian fragmentos de esquisto muy metorizado y descompuesto micáceo, grafitoso, con algunas tonalidades rosas y salmón. Hay fragmentos de lo que parece filita grafitosa que mancha al tacto. Alta plasticidad en ensayo manual.</p>	E
-------------	-------	--	---



Foto 32. Zona de muestreo de SEU-SUB-011.

Observaciones: Debido a modificaciones del terreno por la construcción del Liceo, y otras aledañas, no se logró recuperar muestra de la zona original prevista para el muestreo, por lo que se decidió tomar la muestra en un afloramiento a varios metros del lugar.

## **ANEXO C**

Ver archivo adjunto a este documento

Planillas de descripciones utilizadas en la salida de campo (32)



**ANEXO D**

Ver archivo adjunto a este documento

Difractogramas (32).

## **ANEXO E**

Ver archivo adjunto a este documento

Mapas del Atlas Geológico de Arcillas a escala 1:25.000 (14 Hojas).

## **ANEXO F**

Ver archivo adjunto a este documento

Fichas recuperadas de Investi de descripciones mineralógicas por DRX

## **ANEXO G**

Ver archivo adjunto a este documento

Base de datos, tablas y proyecto GIS.