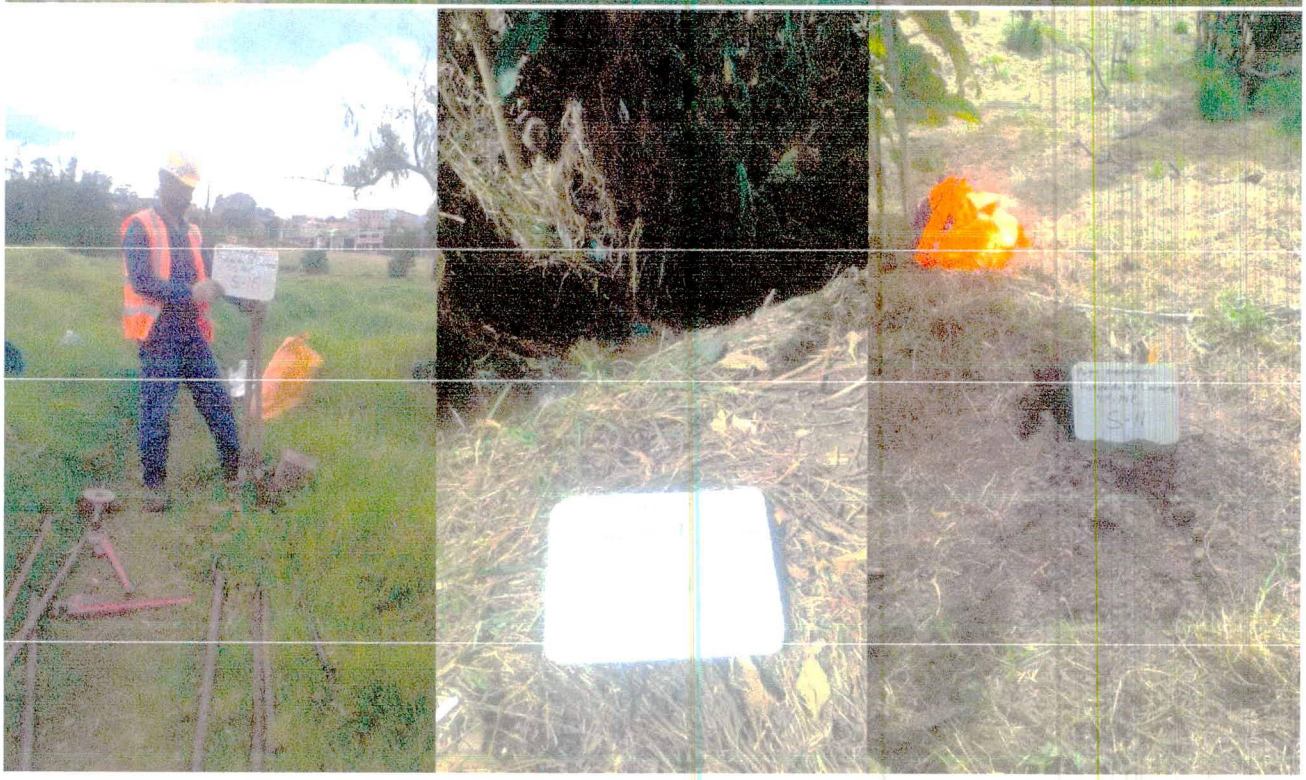


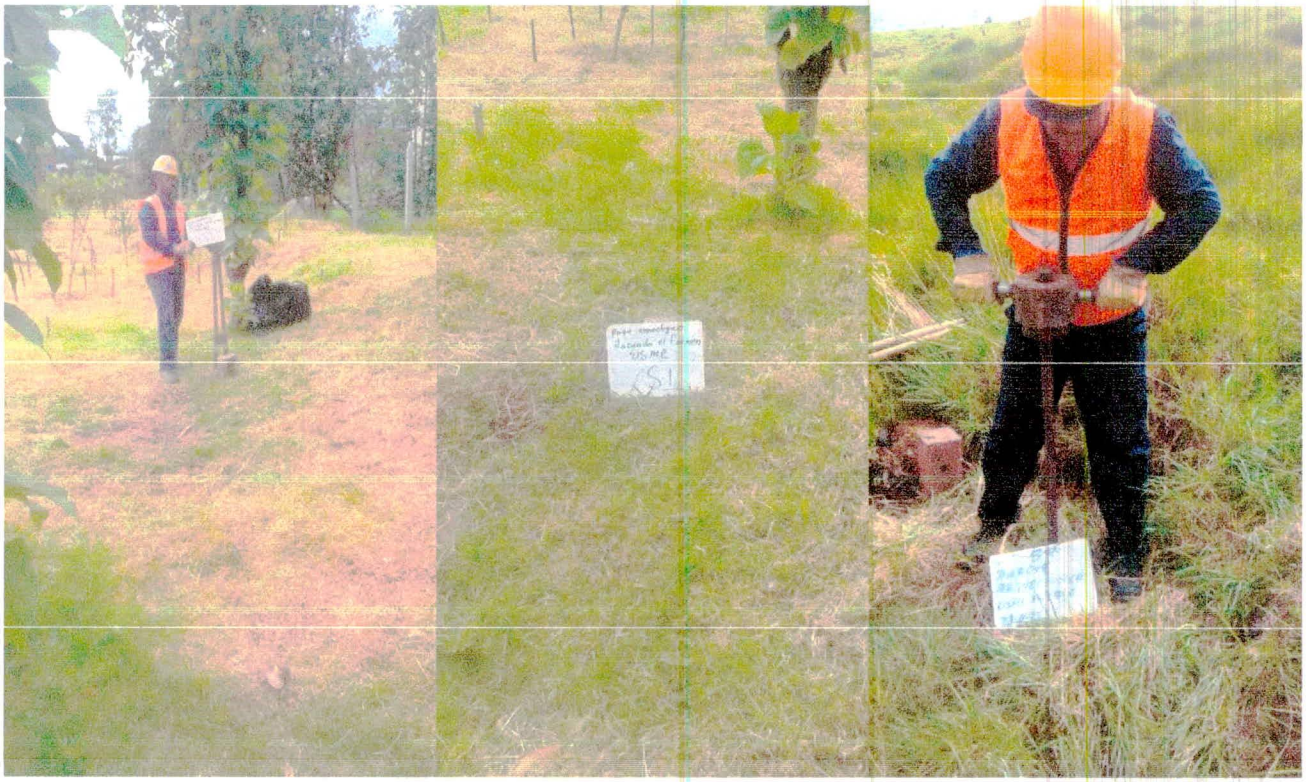
ES 23 4634
PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN
USME, BOGOTÁ
ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 14

simétrica
esférica

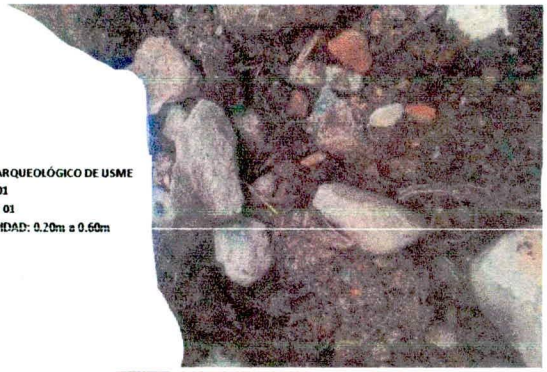




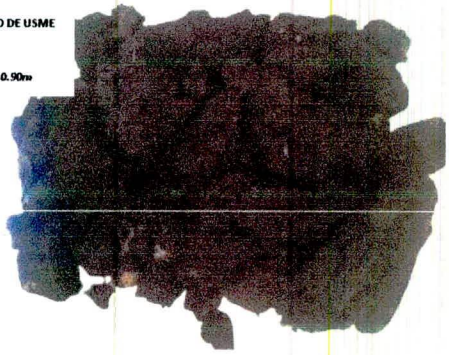
ES 23 4634 PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN USME, BOGOTÁ ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 15	simétrica



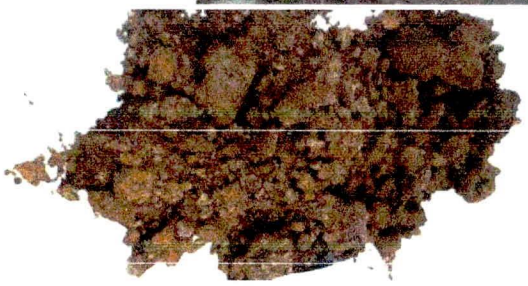
ES 23 4634 PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN USME, BOGOTÁ ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 16	simétrica



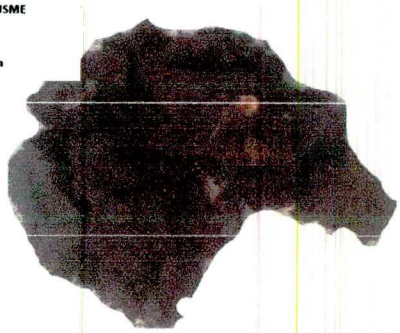
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 01
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.60m



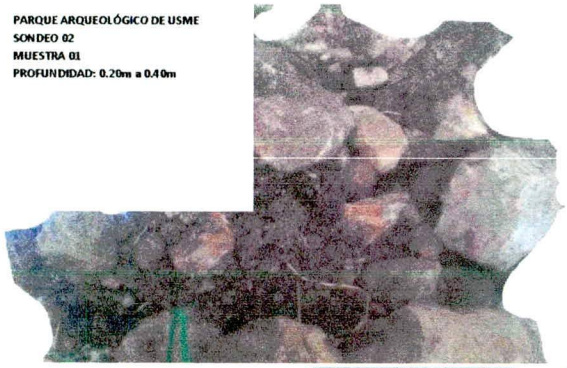
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 01
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.70m a 0.90m



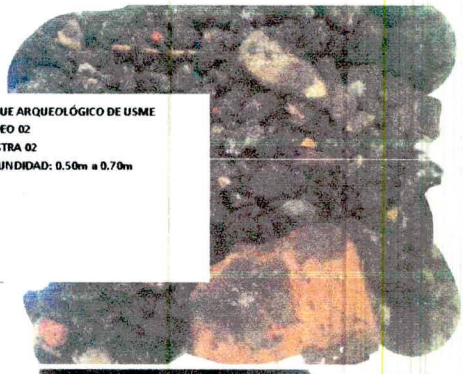
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 01
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 1.80m a 2.20m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 01
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.40m a 2.60m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 02
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.40m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 02
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.50m a 0.70m



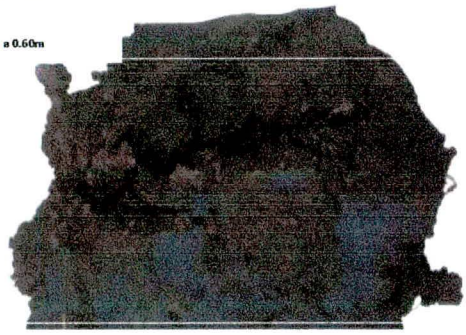
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 02
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 0.80m a 1.10m

PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 02
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 1.20m a 1.60m

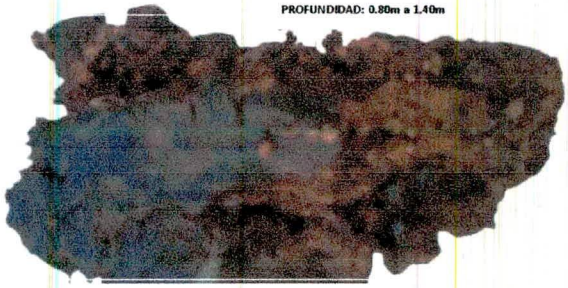
ES 23 4634
PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN
USME, BOGOTÁ
ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 17

simétrica

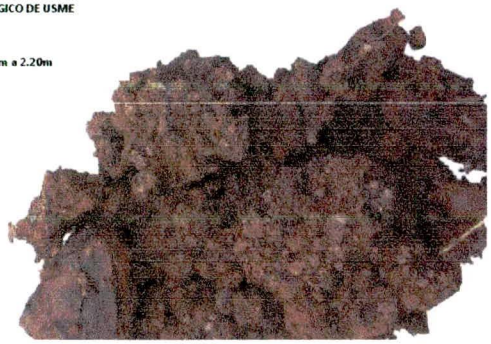
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 03
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.10m a 0.60m



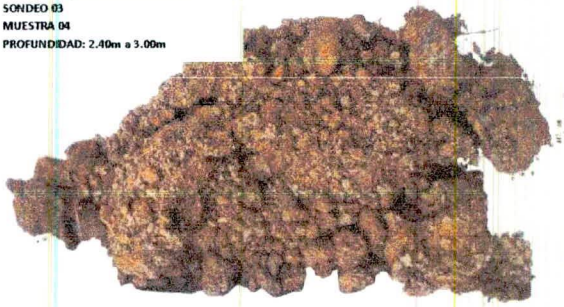
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 03
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.80m a 1.40m

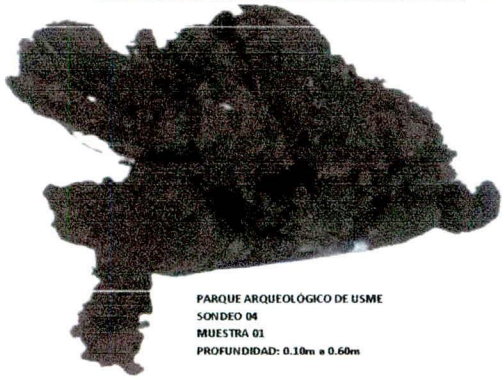


PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 03
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 1.60m a 2.20m



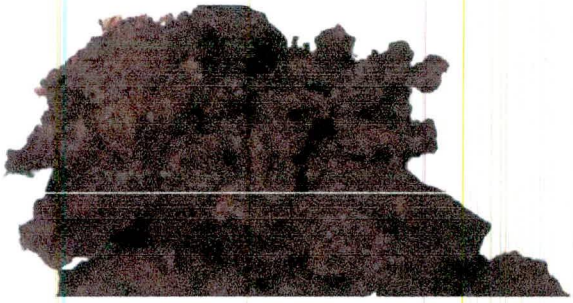
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 03
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.40m a 3.00m

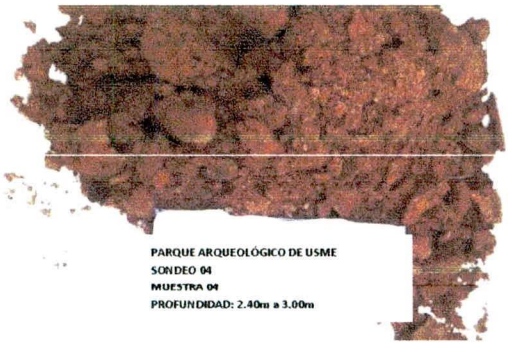




PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 04
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.10m a 0.60m

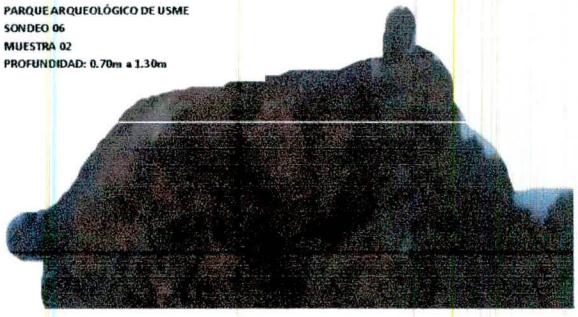
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 04
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.80m a 1.40m





PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 04
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.40m a 3.00m

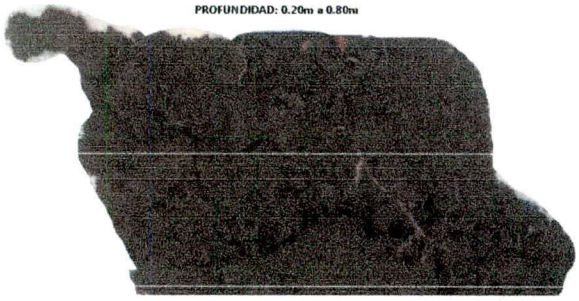
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 06
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.70m a 1.30m



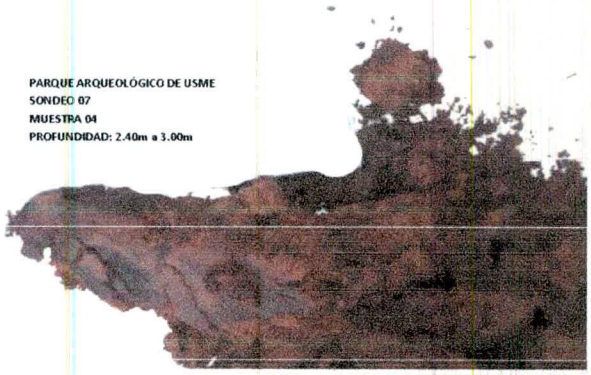
ES 23 4634
PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN
USME, BOGOTÁ
ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 18

simétrica

PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 07
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.80m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 07
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.40m a 3.00m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 08
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 1.40m a 2.00m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 08
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.10m a 2.70m



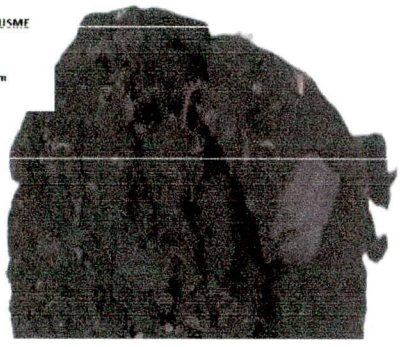
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO: 08
MUESTRA: 05
PROFUNDIDAD: 2.80m a 3.00m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 09
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.10m a 0.60m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 09
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.70m a 1.30m



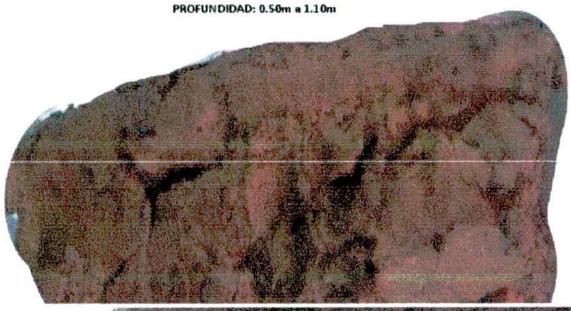
PARQUE ARQUEDLÓGICO DE USME
SONDEO 10
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.50m



ES 23 4634
PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN
USME, BOGOTÁ
ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 19

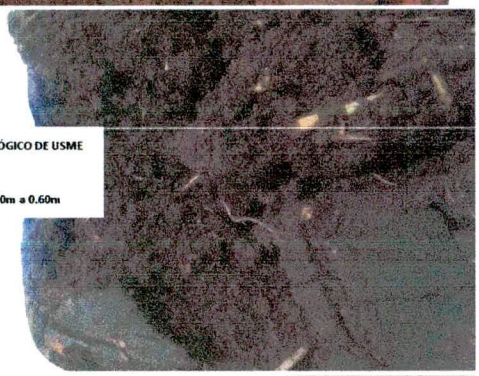
simétrica

PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 10
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.50m a 1.10m





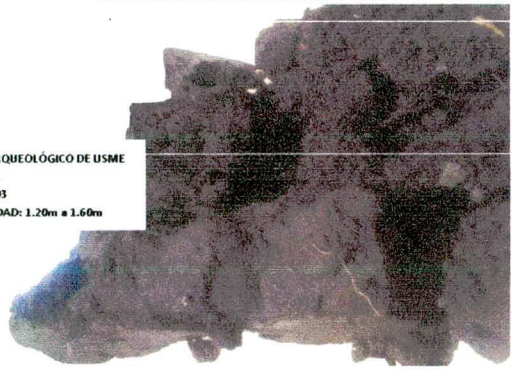
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 10
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.10m a 2.90m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 11
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.60m



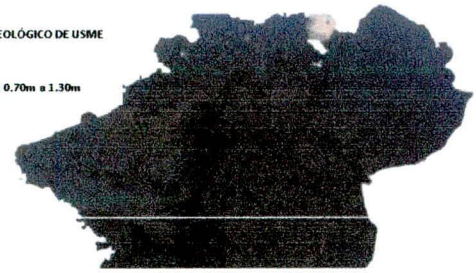
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 11
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.70m a 1.10m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 11
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 1.20m a 1.60m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 12
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.10m a 0.70m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 12
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.70m a 1.30m

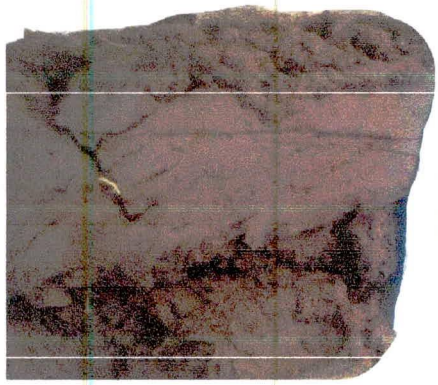


PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 13
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.60m

ES 23 4634 PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN USME, BOGOTÁ ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 20	simétrica

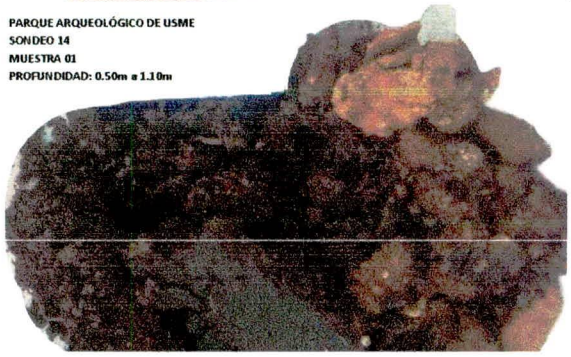


PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 13
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.70m a 1.10m



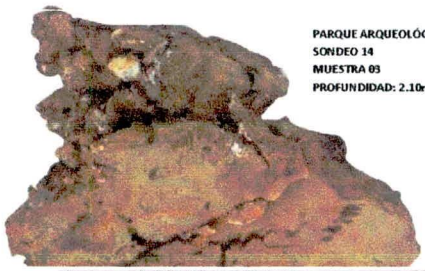
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 13
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 1.20m a 1.50m

PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 14
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.50m a 1.10m



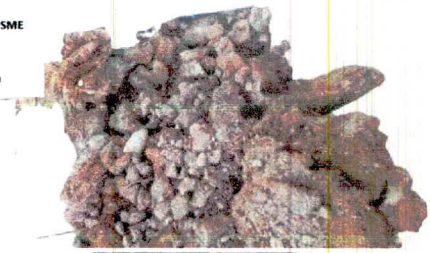
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 14
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 1.30m a 1.90m





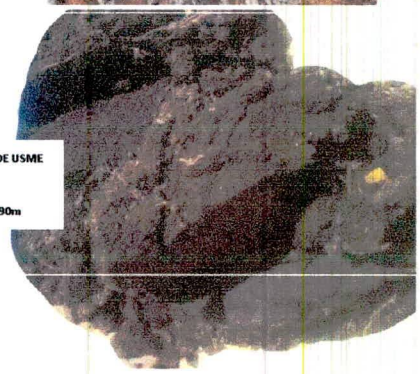
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 14
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 2.10m a 2.70m

PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 14
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.90m a 3.50m





PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 15
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.40m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 15
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.70m a 0.90m

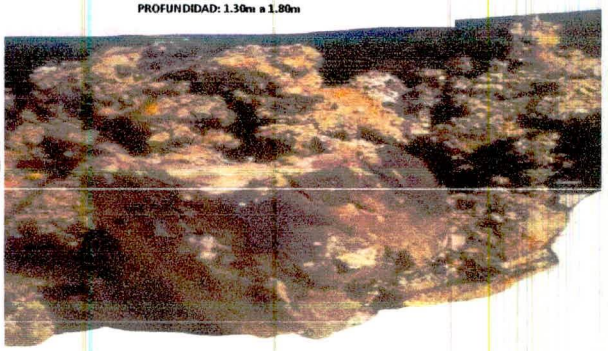
ES 23 4634
PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN
USME, BOGOTÁ
ÁPENDICE FOTOGRAFICO - PAG AF 21

simétrica
solsonic

PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 15
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 1.00m a 1.30m



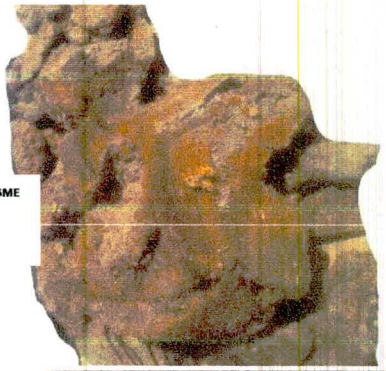
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 15
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 1.30m a 1.80m



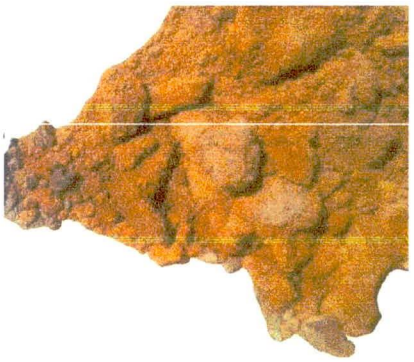
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 15
MUESTRA 05
PROFUNDIDAD: 1.90m a 2.20m



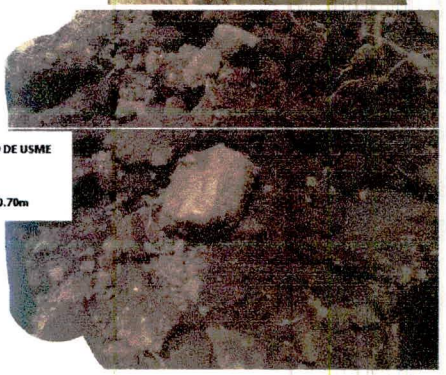
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 15
MUESTRA 06
PROFUNDIDAD: 2.30m a 2.50m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 15
MUESTRA 07
PROFUNDIDAD: 2.60m a 3.00m

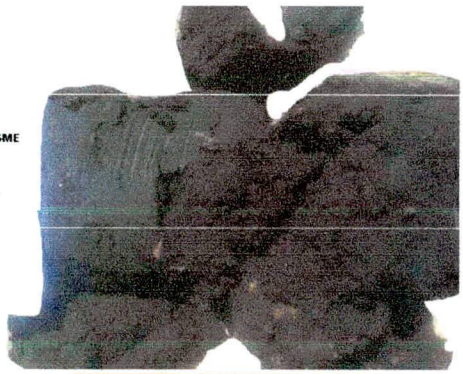


PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 16
MUESTRA 01
PROFUNDIDAD: 0.20m a 0.70m

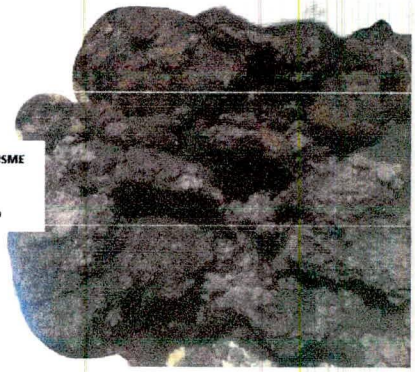


468

PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 16
MUESTRA 02
PROFUNDIDAD: 0.80m a 1.30m



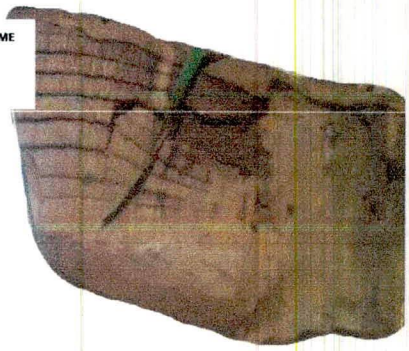
PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 16
MUESTRA 03
PROFUNDIDAD: 1.40m a 1.90m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 16
MUESTRA 04
PROFUNDIDAD: 2.00m a 2.50m



PARQUE ARQUEOLÓGICO DE USME
SONDEO 16
MUESTRA 07
PROFUNDIDAD: 4.60m a 5.00m



469

simétrica

CONSORCIO N V P

ESTUDIOS TÉCNICOS, DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS Y DE INGENIERÍA
PARQUE ARQUEOLÓGICO HACIENDA EL CARMEN
BOGOTÁ D.C

AULA DE INDUCCIÓN, PLAZOLETA Y SENDERO

ESTUDIO DE SUELOS
ES 24-5170
V1

Bogotá, D.C. diciembre de 2024

SIMÉTRICA INGENIEROS CIVILES SAS
CEL. 3005564201 Bogotá, D.C. Colombia
simetrica.ingenieros@hotmail.com

470

simétrica

24-505

Bogotá, 9 de diciembre de 2024

PARQUE ARQUEOLÓGICO HACIENDA EL CARMEN
BOGOTÁ D.C
AULA DE INDUCCIÓN, PLAZOLETA Y SENDERO
USME, BOGOTÁ, D.C. COLOMBIA
Memorial de responsabilidad

En mi calidad de ingeniero geotecnista [1], CERTIFICÓ que realicé el estudio geotécnico para el proyecto de reforzamiento que se desarrollará en el predio citado en la referencia, de conformidad con la normativa legal vigente aplicable: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, Ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008), Decreto 926 del 19 de marzo de 2010; Microzonificación Sísmica de Bogotá, Decreto 523 de 16 de diciembre de 2010. Se han analizado y emitido las recomendaciones en relación con las construcciones vecinas y su estabilidad de acuerdo con lo establecido en H.1.1.2.2.

En consecuencia, asumo la responsabilidad referente al ESTUDIO GEOTECNICO, y exonero a la ciudad de Bogotá y al curador urbano ante terceros, de cualquier responsabilidad civil, por cualquier falta u omisión del presente estudio. Declaro así mismo que asumo la responsabilidad por los prejuicios que por causa de ellos pueda deducirse, exonerando a la ciudad de Bogotá y al curador urbano de cualquier responsabilidad. Aceptó y reconozco que la revisión efectuada por el curador urbano no constituye una aprobación al estudio, sino una verificación del cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos en las normas referidas.

Atentamente,

WILLIAM ARIZA JIMENEZ
C.C. 79.235.994 DE BOGOTA
Ingeniero civil especialista en ingeniería de fundaciones

[1] (y de conformidad con lo establecido en el numeral 22 del artículo 4 del título 11 de la ley 400 de 1997 "ingeniero geotecnista. Es el ingeniero civil, quien firma el estudio geotécnico y bajo cuya responsabilidad se realizan los estudios geotécnicos de suelos, por medio de los cuales se fijan los parámetros de diseño de la cimentación, los efectos de amplificación de la onda sísmica causados por el tipo y estratificación del suelo subyacente a la edificación, y la definición de los parámetros del suelo que se deben utilizar en la evaluación de los efectos de interacción suelo-estructura.").

simétrica



Copia válida únicamente para trámites ante la curaduría urbana, para las obras del proyecto AULA DE INDUCCIÓN, PLAZOLETA Y SENDERO PARQUE ARQUEOLÓGICO HACIENDA EL CARMEN USME, BOGOTÁ, D.C. COLOMBIA según estudio de suelos ES24-5170

472

simétrica

CONTENIDO

Memorando de Responsabilidad
Copia de la Matricula Profesional
INFORME
1. OBJETO 7
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
2.1 Localización del predio 7
2.2 Descripción de las construcciones 8
2.3 Clasificación de la construcción 10
3. EXPLORACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO 11
3.1 Investigación de campo 11
3.2 Ensayos de laboratorio 12
4. PROPIEDADES DE LOS SUELOS 13
4.1 Condiciones de amenaza 13
4.2 Reseña geológica 16
4.3 Secuencia estratigráfica 17
4.4 Posición del nivel freático 18
5. ANÁLISIS 19
5.1 Propiedades físicas y geomecánicas 19
5.2 Características especiales 22
5.2.1 Expansividad 22
5.2.2 Potencial de licuación 24
5.3 Caracterización geotécnica 27
6. RECOMENDACIONES 28
6.1 Determinantes en el planteamiento de la solución 28
6.2 Cimentación 29
6.2.1 Pilotes 30
6.2.2 Zapatas 30
6.3 Procedimiento constructivo 31
6.3.1 Generalidades 31
6.3.2 Construcción de pilotes 32
6.3.3 Construcción de zapatas 33
7. MATERIALES PARA RELLENO 34
7.1 Ciclópeo 34
7.2 Rajón 35
7.3 Material granular seleccionado 35
8. MEDIDAS PREVENTIVAS 35
9. PLAN DE CONTINGENCIAS 36
10. FACTORES DE SEGURIDAD 37

11. CARACTERIZACIÓN SISMICA 38

11.1 Norma NSR-10 38
11.2 Microzonificación sísmica de Bogotá 39
11.3 Definición del perfil del suelo 40
12. OTRAS RECOMENDACIONES 42

Lista de Tablas

Tabla 1–Cargas de servicio 10
Tabla 2–Categoría de las unidades de construcción NSR-10 H3.1-1 10
Tabla 3–Número mínimo de sondeos y profundidad NSR-10 H3.2-1 10
Tabla 4–Localización de perforaciones 12
Tabla 5–Secuencia estratigráfica 18
Tabla 6–Distribución granulométrica 21
Tabla 7–Clasificación de suelos expansivos 23
Tabla 8–Evaluación de la expansividad de las arcillas 24
Tabla 9–Descripción de la zona geotécnica 27
Tabla 10–Propiedades básicas y clasificación 27
Tabla 11–Capacidad admisible de pilotes, PA (ton) 30
Tabla 12–Factores de seguridad indirectos 37
Tabla 13–Factores de seguridad básicos mínimos 37
Tabla 14–Coeficientes para diseño sísmico (NSR-10) 38
Tabla 15–Coeficientes para diseño sísmico (Decreto 523 de 2010) 39
Tabla 16–Velocidad de onda de cortante 41
Tabla 17–Equivalencia microzonificación sísmica y NSR-10 41
Tabla 18–Clasificación de los perfiles de suelo 42

Lista de Figuras

Figura 1–Localización general 7
Figura 2–Planta de localización 8
Figura 3–Alzado del aula de inducción 9
Figura 4– Módulos del sendero peatonal 9
Figura 5–Localización de perforaciones 11
Figura 6–Mapa Amenaza por fenómenos de remoción en masa 13
Figura 7–Mapa Amenaza por inundación 14
Figura 8–Amenaza por avenida Torrencial 15
Figura 9–Mapa geológico local 16
Figura 10–unidades aflorantesl 17
Figura 11–Resistencia in-situ (SPT) vs profundidad 19
Figura 12–Humedad natural vs profundidad 20
Figura 13–Carta de plasticidad 20
Figura 14–Clasificación de suelos finos AASHTO 21
Figura 15–Humedad de equilibrio y presión de expansión 23
Figura 16–Evaluación del potencial de ablandamiento 25

Figura 17–Susceptibilidad a la licuación 26
Figura 18–Mapa geotécnico de la zona 27
Figura 19–Factores de estabilidad de cortes (Taylor) 32
Figura 20–Variación del factor de seguridad 38
Figura 21–Mapa amenaza sísmica NSR-10 39
Figura 22–Mapa de respuesta sísmica 40
Figura 23–Perfil del modelo geológico geotécnico 41

ANEXOS

- Registros de perforación
- Resultado de los ensayos de laboratorio
- Memorias de cálculo
- Registro Fotográfico

simótrica

CONSORCIO NVP
AULA DE INDUCCIÓN, PLAZOLETA Y SENDERO
PARQUE ARQUEOLÓGICO HACIENDA EL CARMEN
USME, BOGOTÁ, D.C. COLOMBIA
ESTUDIO DE SUELOS

1. OBJETO

El objetode este informe es presentar loos resultados de las investigaciones de campo y laboratorio, así como las recomendaciones de cimentación del aula de inducción, plazoleta y sendero que se construirán como parte de la dotación del parque arqueológico Hacienda el Carmen.

El estudio se ha realizado de acuerdo con las especificaciones legales vigentes: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, Ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008), Decreto 926 del 19 de marzo de 2010; Microzonificación Sísmica de Bogotá, Decreto 523 de 16 de diciembre de 2010.

2. *DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO*

2.1 Localización del predio

El parque arqueológico Hacienda El Carmen esta ubicado en la Localidad de Usme, al margen oriental de la Avenica Carrera 14, a la altura de la calle 132 Sur. La localización regional se presenta en la **Figura 1**.

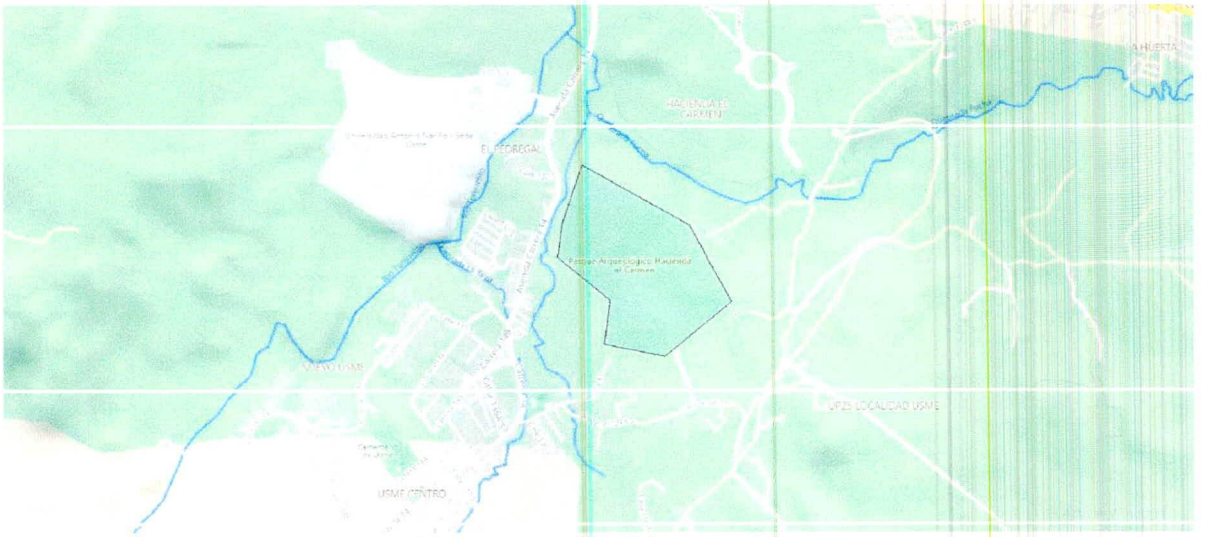


Figura 1–Localización general[2]

[2] FUENTE: BING MAPS

476

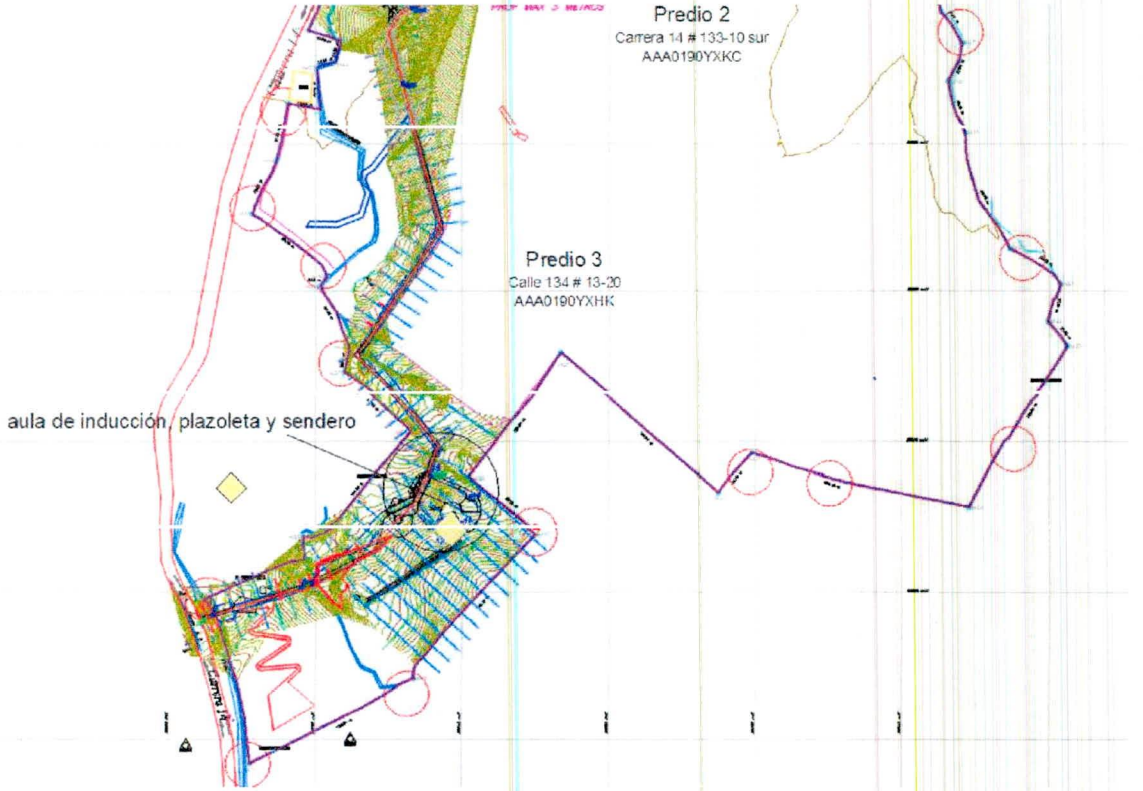


Figura 2–Planta de localización

2.2 Descripción de las construcciones

El aula de inducción será una estructura de un piso de altura proyectada con un apoyo central y 8 distribuidos en el perimetro, formando una figura simétrica con columnas espaciadas cada 7.0m, aproximadamente; la cubierta será liviana a 5.73m de altura en su parte central y 3.25m en el perímetro. Se estiman cargas de servicio variables entre 13ton y 26ton en el perímetro y 52 ton el núcleo.

La construcción se levantará en un terreno de topografía moderada que varía entre las cotas 2758msnm y 2759msnm, que imiplica una pendiente del 7% (4°).

La plazoleta tendrá tres niveles; plazoleta 3 ∇+0.00, plazoleta 2 ∇-0.51m y la plazoleta 1 ∇-1.02m. La plazoleta estará ubicada en el frente del aula y la conectará con el sendero peatonal, el cual tendrá 2.2m de ancho y 27m de longitud.

La paizoleta se conformara por una serie de tableros de 2.5m x 2.5m; el sendero, por su parte, estará formado por una serie de módulos triangulares, que pueden ser reacomodados permitiendo cambiar su dirección. Cada modulo tendrá dados

427

prismáticos que le servirán de apoyo.

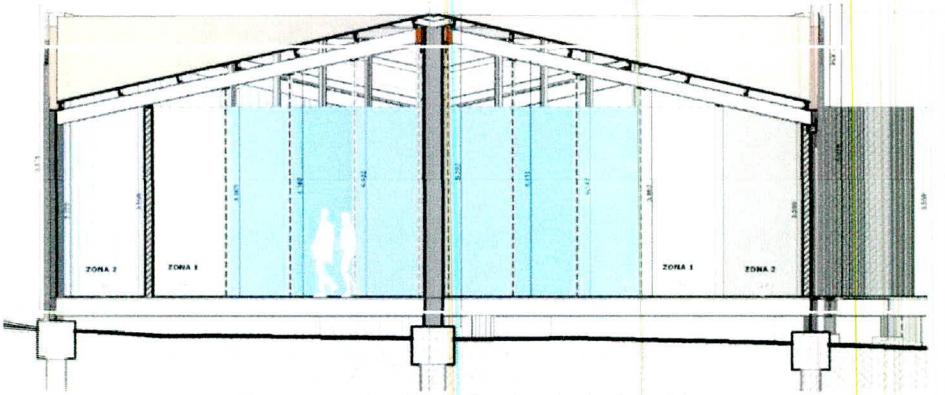


Figura 3–Alzado del aula de inducción

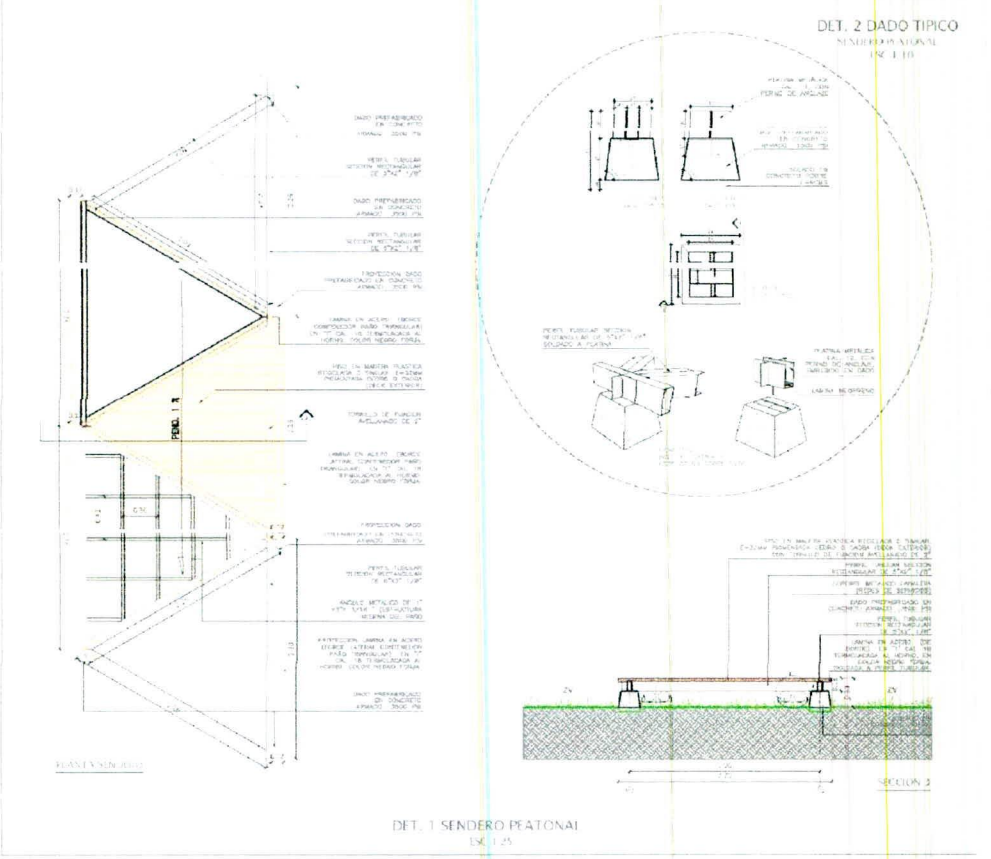


Figura 4– Módulos del sendero peatonal

Por tratarse de un área arqueológica protegida, las obras proyectadas están concebidas de manera que la intervención será la menor posible. Es así como como la arquitectura se ha ajustado a la topografía local, limitando las excavaciones a las estrictamente necesarias para la construcción de la

498

cimentación. En la **Tabla 1** se muestras las reacciones en los distintos apoyos, suministradas por los ingenieros estructurales.

Tabla 1–Cargas de servicio

	Punto	Eje	Carga de servicio
Sala de inducción	6	A-3	12.83
	4	B-3	24.27
	7	C-3	14.63
	8	A-2	18.72
	1	B-2	47.11
	9	C-2	22.55
	11	A-1	12.64
	5	B-1	24.24
	10	C-1	12.78

La plazoleta, en concordancia con su disposición arquitectónica y modelo estructural, requerirá de múltiples apoyos, como se m uestra en la figura 5. En esta estructura se presentarán reacciones variables entre 0.625ton (apoyo 61) y 5.61 ton (apoyo 73)

2.3 Clasificación de la construcción

La cantidad y profundidad de las exploraciones deben cumplir con los requerimientos mínimos establecidos por la NSR-10, en su capítulo H.3. Por su altura y sus cargas de servicio, la construcción clasifica como de categoría BAJA, según lo establece la NSR-10 en su parágrafo "H.3.1.1-Clasificación de las unidades de construcción por categorías".

Con esta premisa, en la **Tabla 3**, se presenta la profundidad indicativa, que para el caso de la categoría es de 6m.

Tabla 2–Categoría de las unidades de construcción NSR-10 H3.1-1

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas(kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,000 y 8,000
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000

Tabla 3–Número mínimo de sondeos y profundidad NSR-10 H3.2-1

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de Sondeos: 15 m Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos:25 m Número mínimo de sondeos:4	Profundidad Mínima de sondeos:30 m Número mínimo de sondeos:5

A continuación, se describen los detalles de las investigaciones de campo y

4x9

simétrica
ingeniería

laboratorio, el análisis geotécnico y las recomendaciones que conduzcan a la solución de cimentación adecuada enmarcada dentro de los parámetros de funcionabilidad y seguridad.

3. EXPLORACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO

3.1 Investigación de campo

Se realizaron 12 perforaciones; en la **Figura 5** se muestran las diferentes zonas con las perforaciones; las coordenadas de cada pozo se muestran en la **Tabla 4**.

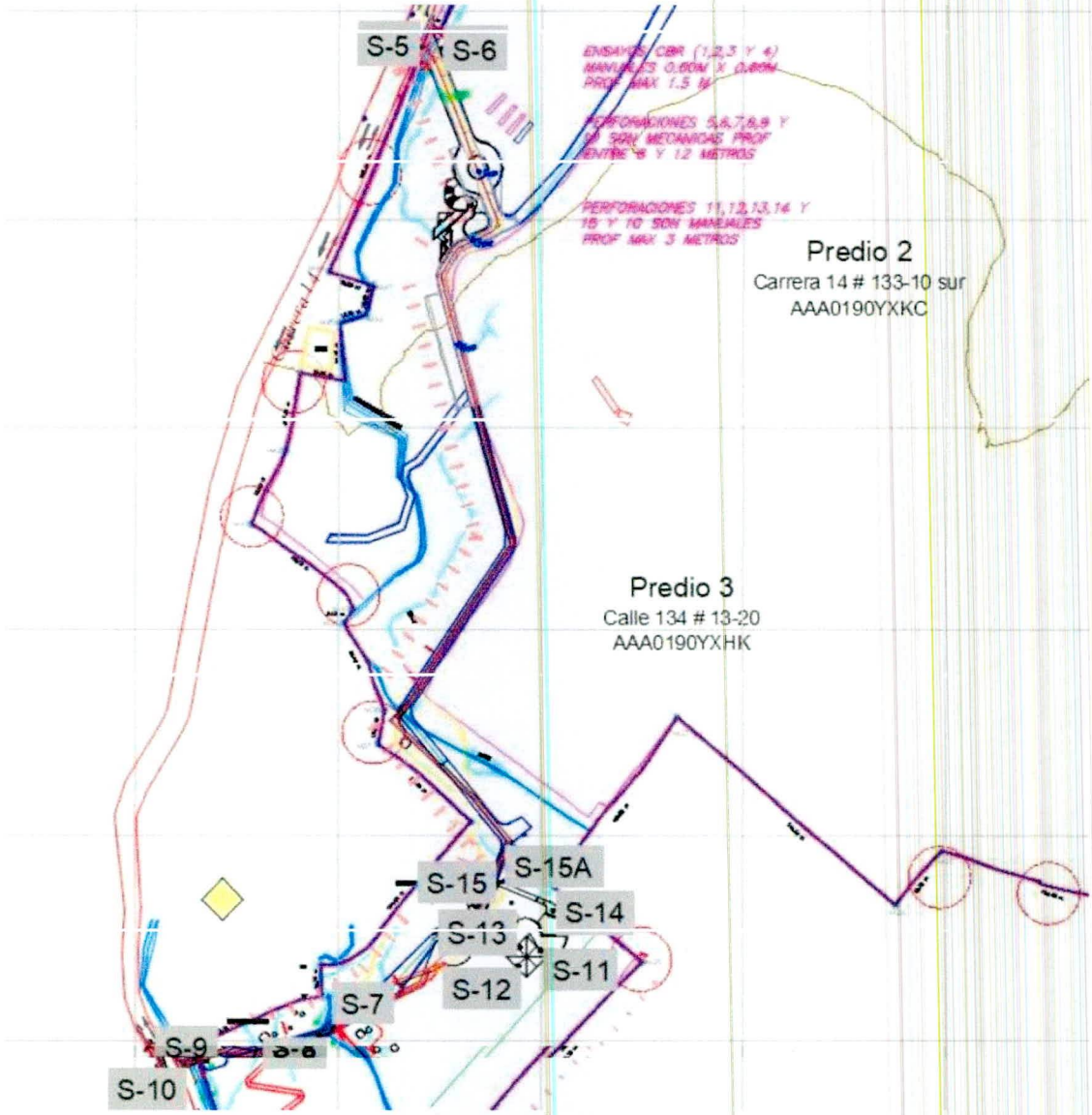


Figura 5–Localización de perforaciones

480

Tabla 4–Localización de perforaciones

Punto	COORDENADAS		Profundidad	ubicación
	N	E		
M49	87093	95146		mojón
S-5A	87084	95141	9.0	Pontón
S-6	87083	95151	10.0	Pontón
S-7	86607	95098	12.0	Peatonal
S-8	86603	95090	12.0	Peatonal
S-9	86585	95030	9.0	Pontón
S-10	86582	95025	8.4	Pontón
S-11	86645	95200	3.5	Aula-plazoleta
S-12	86637	95189	3.5	Aula
S-13	86646	95190	3.0	Aula
S-14	86663	95206	3.0	Plazoleta
S-15	86677	95179	3.5	Sendero
S-15A	8677	98182	1.5	sendero

En cuanto a la profundidad de las perforaciones se reproduce el literal (d) del parágrafo H.3.2.5: (d) En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberán alcanzar las siguientes penetraciones en material firme (material designado como A, B o C en la Tabla A.2.4.4-1 del Título A de este Reglamento.), de acuerdo con la categoría de la unidad de construcción: - Categoría Baja: los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales; - Categoría Media, penetrar un mínimo de 2 metros en dichos materiales, o dos veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados; - Categoría Alta y Especial, penetrar un mínimo de 4 metros o 2.5 veces el diámetro de pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa o la consistencia adecuada de los materiales y su consistencia con el marco geológico local.

Además de lo anterior, conviene aclarar que debido al carácter de reserva arqueológica, los trabajos de perforación debieron ejecutarse, en algunos sitios, con equipo liviano para reducir al máximo la afectación en el área de estudio.

3.2 Ensayos de laboratorio

Las pruebas insitu se han complementado con los ensayos de laboratorio consistentes básicamente en la determinación de las propiedades índices. En suelos de carácter cohesivo se practicaron ensayos de clasificación y de resistencia con una frecuencia tal que permitió la adecuada caracterización del depósito explorado.

Ensayos de clasificación y resistencia:

481

- Humedad Natural,
- Límites de Atterberg,
- Peso Unitario,
- Granulometría,
- Gravedad específica
- Compresión inconfinada
- Consolidación
- Corte directo
- Carga puntual

Los registros de perforación y los resultados de las pruebas de laboratorio se incluyen en el anexo de éste informe.

4. PROPIEDADES DE LOS SUELOS

4.1 Condiciones de amenaza

La Hacienda el Carmen de Usme esta ubicada en zona de amenaza media, con *áreas de amenaza baja en su parte central y franjas de amenaza alta*, particularmente en las delimitadas por los cursos de las quebradas Fucha (al norte), Requilina (al oriente) y Agua Dulce (al occidente).

En estas circunstancias, el IDPC, contrató la ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS, COMPLEMENTARIOS Y NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DISEÑO DE OBRAS DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS realizado por la consultora INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CAMBIO CLIMÁTICO.

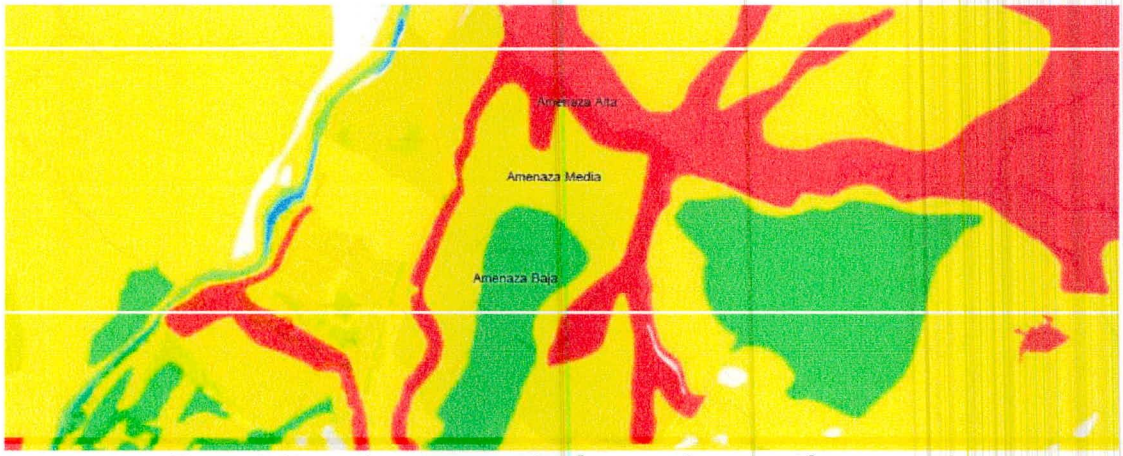


Figura 6–Mapa Amenaza por fenómenos de remoción en masa[3]

[3] Tomado SIRE.GOV.CO

482

No existe amenaza por inundación. El mapa se presenta en la **Figura 7**.

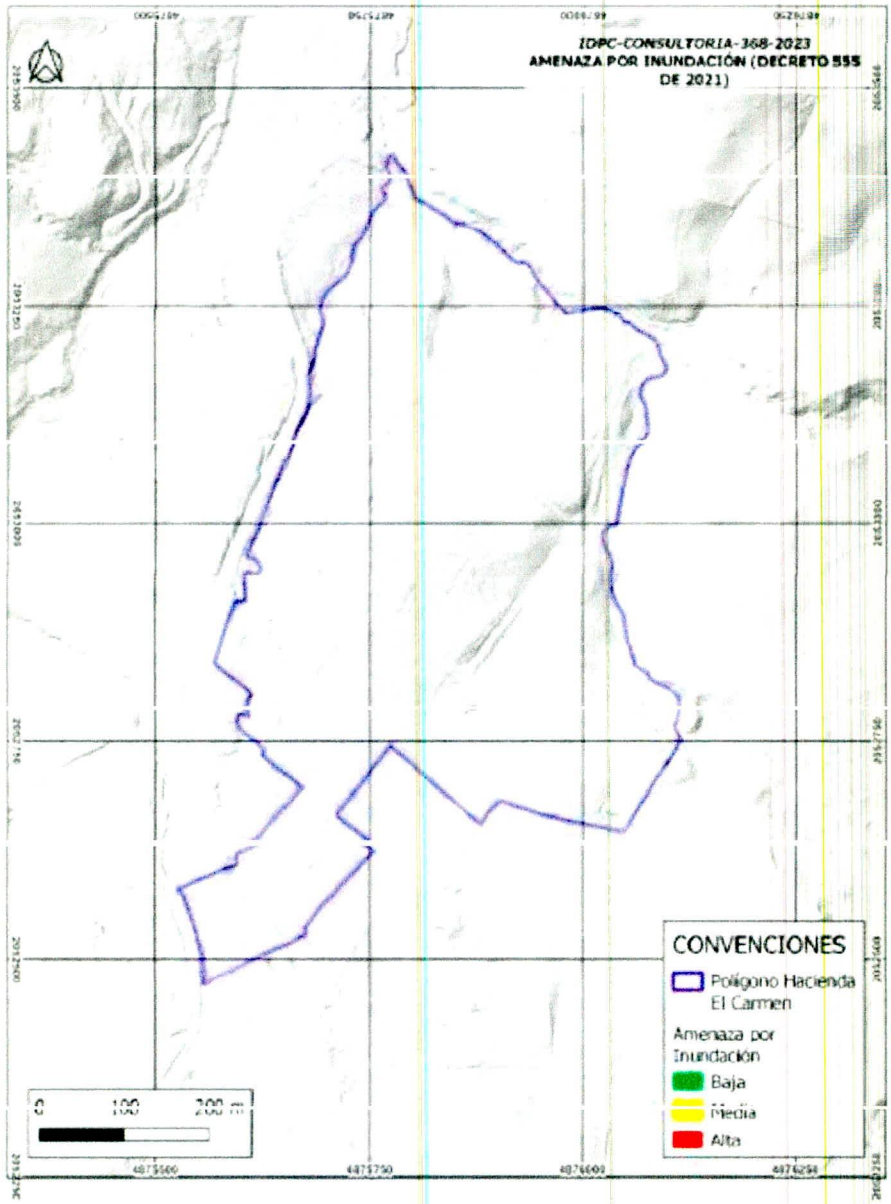


Figura 1.39 23 Zonificación de amenaza por inundación por desbordamiento.

FUENTE: DECRETO 555 DE 2021 (VIGENTE).

Figura 7–Mapa Amenaza por inundación

En relación con la Amenaza por fenómeno de avenida torrencial, las zonas aledañas a las quebradas Fucha, Requilin, Aguadulce y la Taza presentan Amenaza Alta.

483

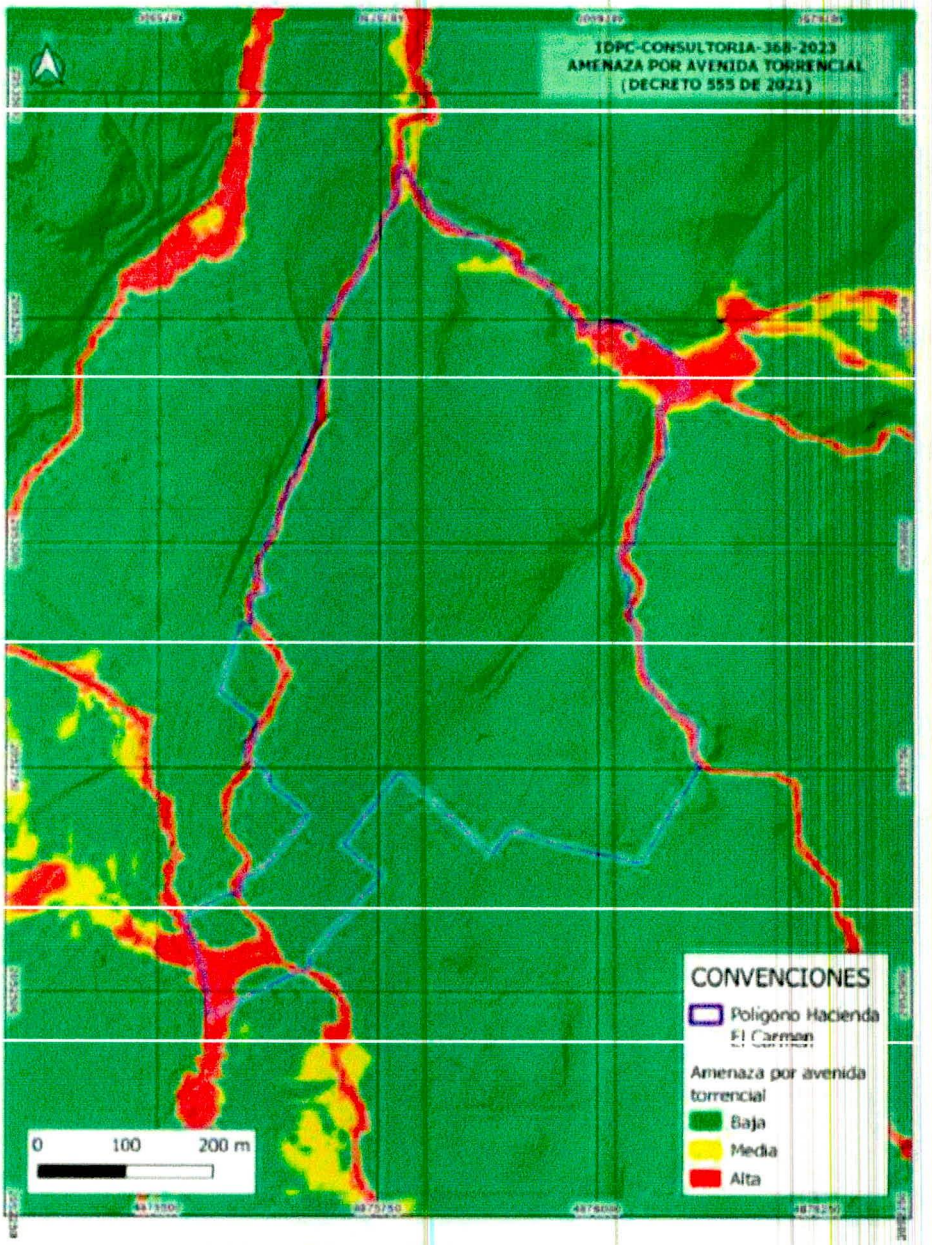


Figura 1.40 Zonificación de amenaza por avenida torrencial.

FUENTE: DECRETO 555 DE 2021 (VIGENTE).

Figura 8–Amenaza por avenida Torrencial

Los diseños a cargo del consorcio NVP han sido ubicados de manera que las obras proyectadas estarán en zonas de amenaza baja y media. Las eventuales obras de mitigación de amenaza no son objeto del presente informe.

484

4.2 Reseña geológica

De acuerdo con el informe "GEOLOGÍA DE LA SABANA DE BOGOTÁ" Ingeominas 2007, la Sabana de Bogotá está ubicada en el Departamento de Cundinamarca, en la zona axial de la Cordillera Oriental y comprende la Cuenca Hidrográfica Alta del río Bogotá; fisiográficamente está conformada por una superficie plana de 2.600msnm altura promedio, la cual es rodeada por montañas con alturas hasta los 3.600msnm.

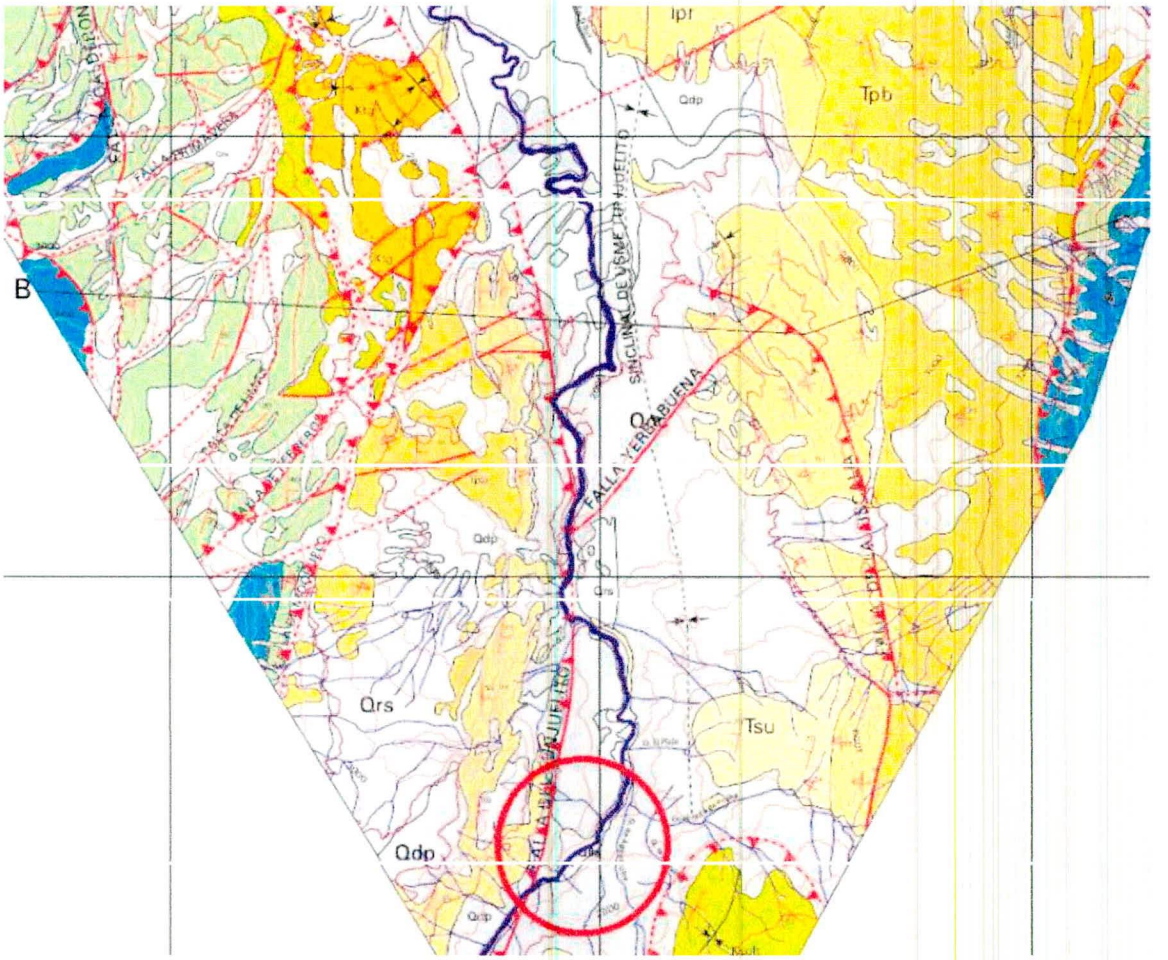


Figura 9–Mapa geológico local[4]

Formación Marichuela (N1m)[5]. En el valle de Usme, Helmes & Van der Hammen (1995) observan depósitos que suprayacen rocas precuaternarias y que provienen de un sistema de abanicos que se originan a alturas desde los 3.100 a 3.600 m.s.n.m, estos depósitos son gravas con clastos hasta de tamaño de

[4] Tomado del mapa Geológico de Bogotá, INGENOMINAS1993
[5] FUENTE: Geología de la Sabana de Bogotá, INGEOMINAS 2005

485

bloques. Depósitos de este tipo se observan en la región de Usme, La Calera, Laguna del Neusa y en la región del Sisga; en la vereda Suralá.

El origen de estos depósitos se asocia a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociado a lluvias torrenciales; las forman que los caracterizan son lomas bajas y abanicos de morfología alomada de longitudes muy largas, de formas convexas y abruptas (Carvajal et al., 2005)

Para Helmes & Van der Hammen (1995), la formación Marichuela siempre *encuentra sobre rocas del sustrato rocoso (rocas cretácicas), la alta deformación* que sufren y el carácter sin-orogénico la sitúan por debajo de la secuencia pliocena-cuaternaria, por lo tanto seria Miocénica. Toro et al., (2003), por huellas de fisión en circones arrojan con seguridad edades entre 2 y 5 millones de años (m.a) que la colocan en el Plioceno, sin embargo presentan un dato de 8.2 m.a correspondiente al Mioceno (Toro et al., 2003).

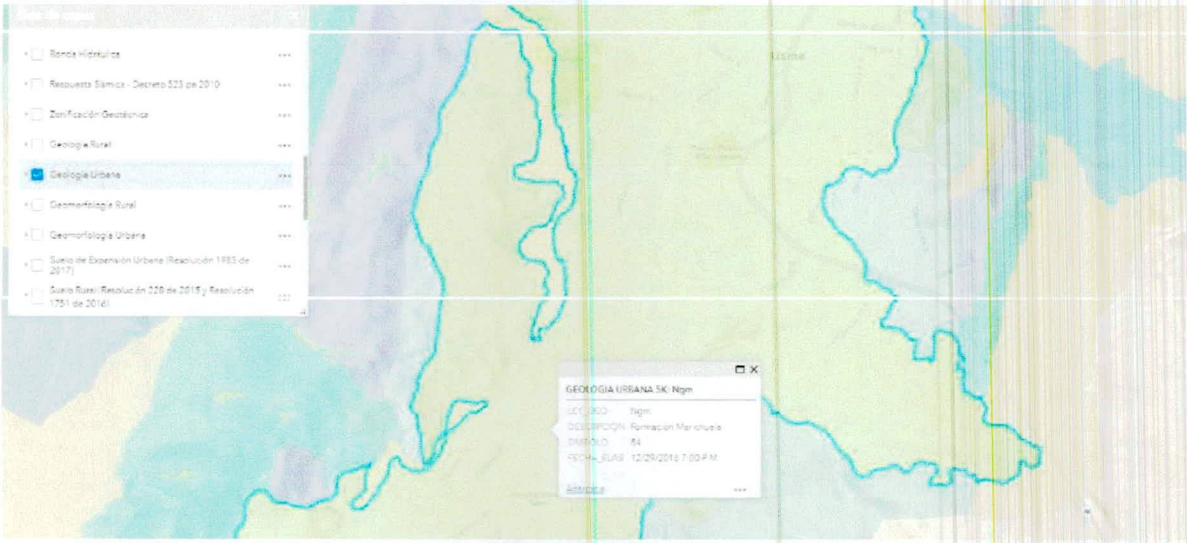


Figura 10–unidades afloranteS[6]

4.3 Secuencia estratigráfica

La estratigrafía local está compuesta por una capa de limo orgánico a arenoso, seguida de cpas sucesivas de de arcilla, arena, grava y arenisca (clastos, bancos) no necesariamente en ese orden.

En los sondeos S-5 y S-10 se encontró un relleno antrópico de limo orgánico, con escombros y basuras (S-5) con un espesor cercanoa a 1.5m.

[6] FUENTE: SIRE.GOV.CO

486

En general se trata de materiales de la formación Marichuela, flujo torrencial gravas clastos, bloques con una matriz arcillo limo arenosa.

Tabla 5–Secuencia estratigráfica

Matriz	Espesor y propiedades				
Limo orgánico a limo arcillo arenoso, eventualmente con clasto y grava de arenisca. Color negro a marrón oscuro	Z (m)	0.0-1.5			
	ω (%)	8-42			
	LL (%)	31-47			
	LP(%)	12-24			
	γ (ton/m3)	1.4-2.0			
	Gs	2.58			
	Grava(%)	8-43			
	Arena(%)	23-40			
	Finos(%)	17-69			
	ϕ°				
	C				
	Cc				
	qu (kPa)	45			
Arcilla limo arenoso con ggrava media y fina; clastos y bloques de arenisca	Z (m)	1.5-2.5	2.5-5.0	5.0-7.0	7.0-10.5
	ω (%)	13-39	7-27	10-25	6-27
	LL (%)	24-55	35-51	38-49	22-33
	LP(%)	11-26	11-17	11-12	7-13
	γ (ton/m3)	1.6-2.0	1.8-2.2	1.8-2.2	1.9-2.2
	Gs	2.64	2.58	2.60	2.65
	Grava(%)	29	0-50	84	0-66
	Arena(%)	15-45	21-65	9	11-48
	Finos(%)	25-86	22-76	7	19-88
	ϕ°	17.8-21.2	20.9-22.4	17.5-22.2	19
	C	11.5	8.2-15.4	12-13.3	11.6
	Cc	0.28	0.11		
	qu (kPa)		93-161	70	35-74
	σp (kPa)	90	94		
Grava, clastos cantos de Arenisca con limo arcillo arenoso	Z (m)	10.5-12.0			
	ω (%)	7-26			
	LL (%)				
	LP(%)				
	γ (ton/m3)	1.9-2.2			
	Gs	2.63			
	Grava(%)	0-2.5			
	Arena(%)	52-67			
	Finos(%)	33-45			
	ϕ°	22			
	C	13			
	Cc				
	qu (kPa)				

4.4 Posición del nivel freático

El agua libre se presentó en las perforaciones realizadas con equipo mecánico a profundidades cercanas a 3.0m. Este nivel puede verse afectado por el agua de

487

lavado utilizada enel proceso de perforación.

En el estudio de amenaza riesgo y vulnerabilidad (CI INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CAMBIO CLIMÁTICO, Agosto de 2024), se hizo un monitoreo piezométrico, encontrándose un nivel de aguas subsuperficiales, relativam,emnte estable entre 10.0m y 12.0m.

5. ANÁLISIS

5.1 Propiedades físicas y geomecánicas

Los parámetros de resistencia in-situ a la penetración estándar (SPT) y su evolución con la profundidad, se han graficado en la **Figura 11**.

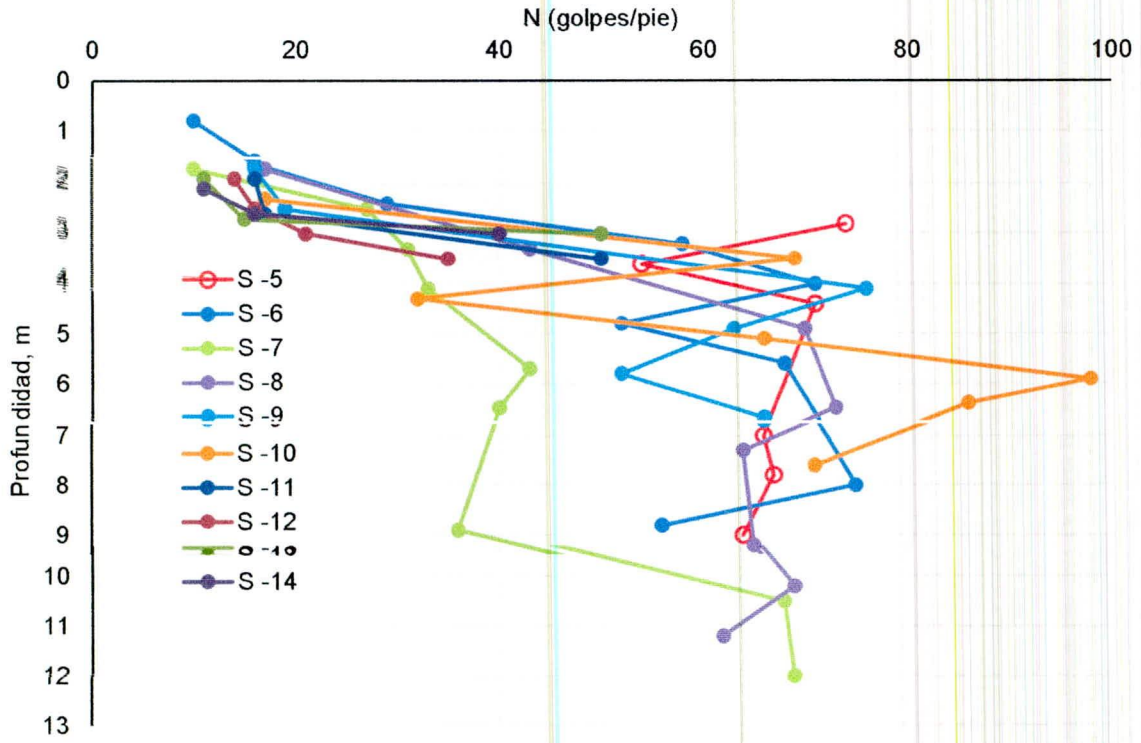


Figura 11–Resistencia in-situ (SPT) vs profundidad

En la **Figura 12** se presenta la humedad natural en su variación con la profundidad. La humedad es de media baja con una variación que por lo general se presenta entre 10% y 25%; los porcentajes menores corresponden a las *matrices granulares*.

488

simétrica
asimétrica

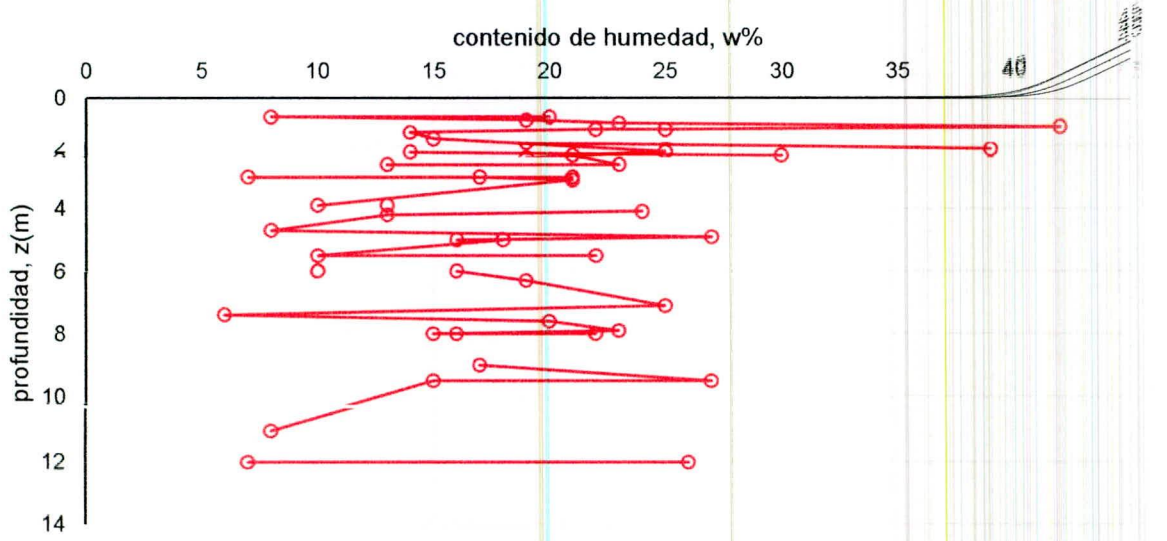


Figura 12–Humedad natural vs profundidad

Todas las muestras ensayadas se han representado en la **Figura 13.** Como se aprecia, se trata de suelos de límite líquidobajo, LL<50%, clasificados como CL, eventualmente CH.

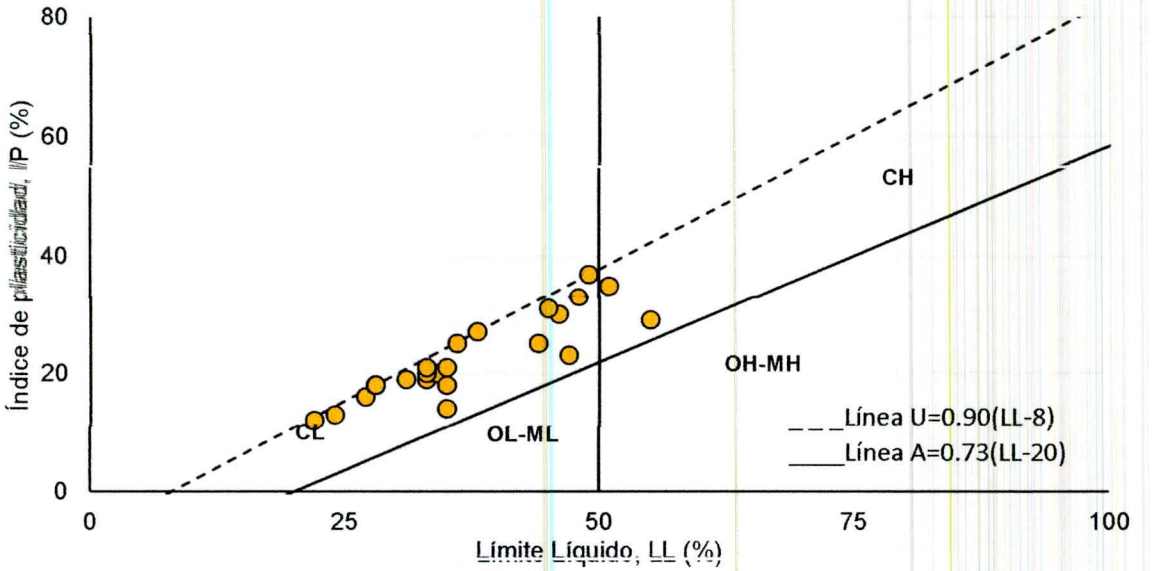


Figura 13–Carta de plasticidad[7]

La clasificación de los suelos finos, de acuerdo con la AASHTO indican suelos de los grupos A-6 y A-7-6 (**Figura 14**).

[7] FUENTE: elaboración propia

489

simétrica

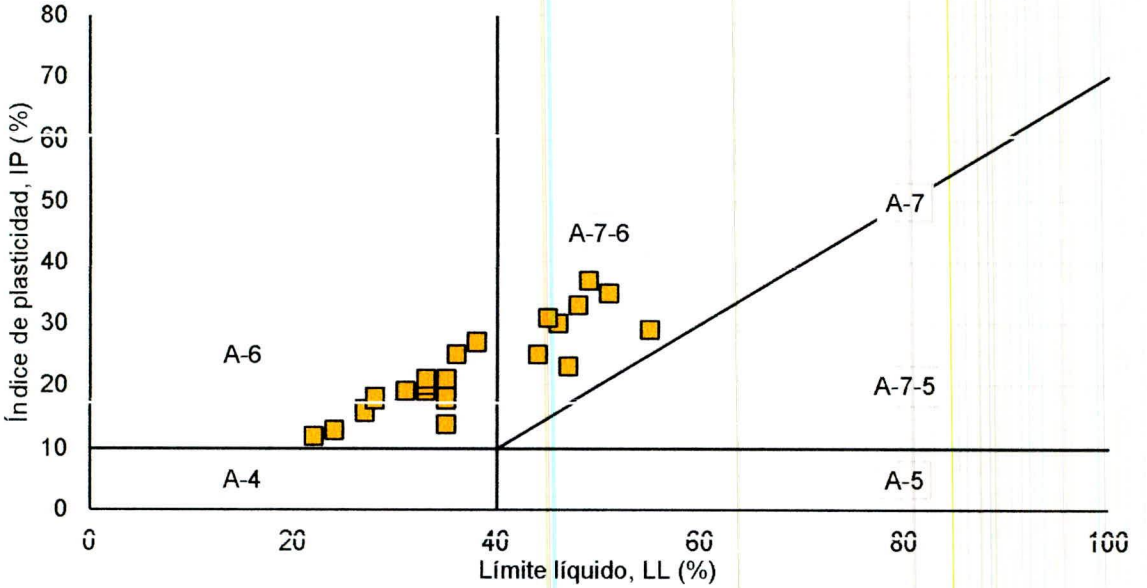


Figura 14–Clasificación de suelos finos AASHTO[8]

En la **Tabla 6** se muestra la distribución granulométrica general. El porcentaje de finos es, por lo general, superior a 20%.

Tabla 6–Distribución granulométrica

perforación	Profundidad		granulometría, %		
	zi(m)	zf(m)	Grava	Arena	Finos
S-4	0,7	1,5	5,8	18,9	23,2
S-15	0,2	0,6	43,1	39,9	17,1
S-15	0,9	1,1	7,5	23,9	68,5
S-13	1,4	1,9	0,0	14,7	85,3
S-5	2,0	2,6	29,3	44,8	25,9
S-8	2,0	3,0	49,7	21,9	28,4
S-14	2,7	3,0	0,8	22,9	76,3
S-7	3,3	3,9	46,1	31,0	22,9
S-9	3,3	3,9	6,4	31,8	61,8
S-5	3,6	4,2	28,0	64,8	32,3
S-8	4,1	4,7	21,3	32,1	46,7
S-6	4,0	5,0	37,0	24,4	38,6
S-5	5,2	6,0	84,0	9,1	6,9
S-10	6,8	7,4	66,3	14,3	19,4
S-5	7,0	7,6	5,7	26,6	67,8
S-8	7,3	7,9	0,0	17,5	82,5
S-7	7,3	8,0	0,0	47,6	52,4
S-8	6,0	8,0	0,0	11,6	88,4
S-8	8,1	9,0	0,0	25,9	74,1
S-8	10,2	11,0	0,0	66,6	33,4
S-7	10,7	12,0	2,5	52,4	45,1

[8] FUENTE: elaboración propia

490

5.2 Características especiales

La NSR-10, en su capítulo H-9, recomienda examinar las condiciones geotécnicas especiales que puedan requerir de tratamientos y obras anexas a las de cimentación propiamente dichas. Entre otras se examinan aquí, la expansividad, el potencial de licuación.

5.2.1 Expansividad

Expansividad es el aumento de volumen por absorción de agua, y retracción la disminución volumétrica por eliminación de agua. El cambio de volumen está condicionado, además de los factores geológicos, por los siguientes:

- Variaciones climáticas: de ellas depende la presencia de agua para producir la expansión, o la evaporación para inducir la retracción.

- Vegetación: puede cambiar localmente el contenido de humedad del suelo con las consiguientes variaciones volumétricas. La vegetación y sus raíces pueden ser los agentes que desencadenen el fenómeno.

- Cambios Hidrológicos: relacionados con las acciones climáticas o las variaciones del nivel freático debidas a la explotación de acuíferos o construcción de embalses.

Como la expansividad y la retracción se relacionan con el contenido arcilloso del depósito, su valoración atiende criterios de evaluación de las arcillas para determinar su grado de acción.

En la NSR-10 se presenta la tabla H.9.1-1 en la que se indica el potencial expansivo de las arcillas en relación con el valor de algunos parámetros, entre ellos el límite líquido y el índice de plasticidad.

Las características plásticas se usan como indicadores del potencial expansivo, porque tienen que ver con la posibilidad que tiene una arcilla de absorber agua. Sin embargo, una elevada plasticidad no necesariamente indica un alto potencial expansivo. Por esto es necesario evaluar otros parámetros que tienen que ver con los cambios de humedad de las arcillas y compararlas con los indicadores de plasticidad para emitir determinar el grado del potencial expansivo de los suelos.

La humedad de equilibrio es la avidez del suelo por el agua: si la humedad de equilibrio, de acuerdo con la formulación de Weston, es superior a la humedad

491

natural, el suelo presentará una tendencia a ganar humedad con el consiguiente cambio volumétrico. La humedad de equilibrio aparece muy cercana a la humedad natural, lo cual quiere decir que, en el estado actual, el suelo tiene satisfecha su avidez por el agua.

Tabla 7–Clasificación de suelos expansivos[9]

Potencial de expansión	Expansión (%) *medida en* consolidometro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm²	Límite líquido LL en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad IP en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	*Expansión* libre EL en (%) medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20-30	50 – 63	6 – 12	23– 45	18 – 37	> 100
Medio	10-20	39 – 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 – 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

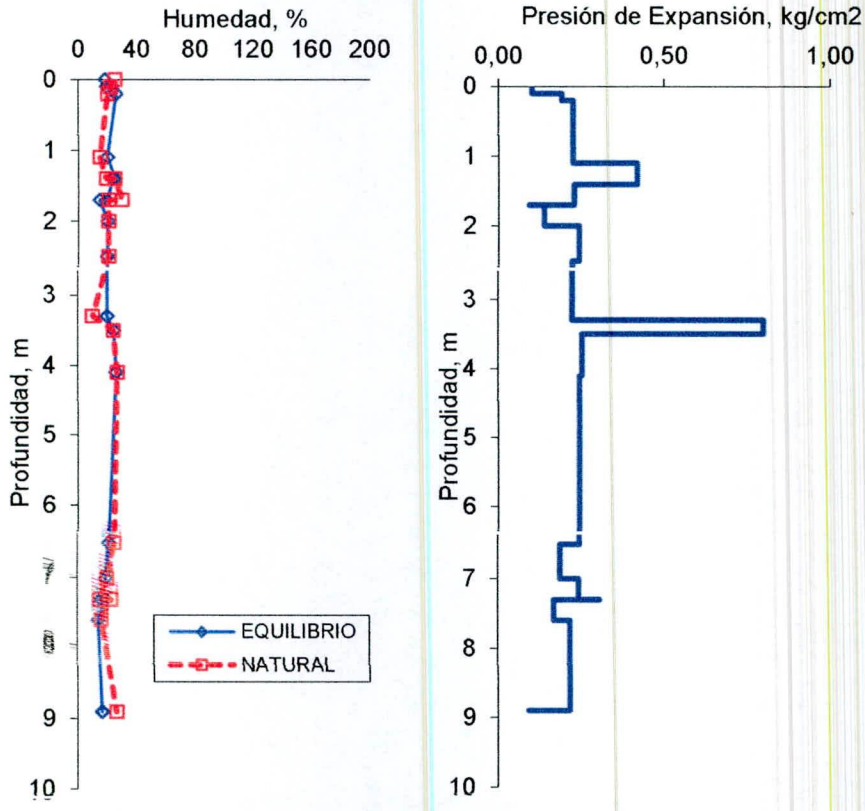


Figura 15–Humedad de equilibrio y presión de expansión[10]

Para establecer de manera numérica el efecto de un cambio volumétrico en las

[9] FUENTE: NSR-10, Tabla H.9.1-1
[10] FUENTE: elaboración propia

492

arcillas, se ha calculado la presión de expansión más probable (Davis & Komornik) que generarían las arcillas en el evento de alcanzar su humedad de equilibrio. La presión de expansión en caso de presentarse, indica un potencial expansivo bajo con un valor promedio de 0.35kg/cm^2.

Tabla 8–Evaluación de la expansividad de las arcillas[11]

prof.	Límite liquido (%)	índice de plasticidad (%)	Límite de contracción (%)	humedad natural (%)	humedad equilibrio (%)	Presión expansión (kg/cm^2)	clasificación
0,0	31	19	9	25	18	0,10	i-baja
0,1	33	19	11	22	19	0,19	i-baja
0,2	47	23	17	20	26	0,23	i-baja
1,1	35	14	17	15	20	0,42	i-baja a media
1,4	46	30	11	19	25	0,39	i-baja a media
1,4	44	25	13	25	24	0,23	i-baja
1,7	34	20	11	30	20	0,09	i-baja
1,7	24	13	9	21	15	0,14	i-baja
2,0	36	25	8	21	21	0,24	i-baja
2,5	35	18	13	21	20	0,22	i-baja
3,3	35	21	11	10	20	0,80	i-baja a media
3,5	45	31	10	24	25	0,25	i-baja
4,1	48	33	10	27	26	0,25	i-baja
6,5	38	27	8	25	21	0,19	i-baja
7,0	33	20	10	20	19	0,24	i-baja
7,3	27	16	9	15	16	0,31	i-baja a media

En general las presiones de expansión son inferiores al esfuerzo que ejercerán las estructuras proyectadas con lo cual se logra inhibir el potencial en caso de que se llegue a desencadenar dicha presión. No obstante se recomienda: redundar en obras de recolección de aguas lluvias, evitar la siembra de árboles frondosos en las cercanías de los cimientos.

5.2.2 Potencial de licuación

5.2.2.1 Arcilla

Las capas encontradas son sucesiones de arcillas, la evaluación de esta condición se realiza con base a su índice de plasticidad, y la relación entre su humedad natural y limite liquido (Bray et. Al 2004), en efecto para que una arcilla sea licuable debe cumplirse que:

Suelo susceptible cuando:

$$IP \leq 12 \text{ y } w/LL > 0.85$$

[11] FUENTE: elaboración propia

93

Suelo con susceptibilidad moderada si:

$$12<IP \leq 20 \text{ y } w/LL > 0.8$$

Si el IP es menor a 12% y la relación w/LL es superior a 0.85 el suelo es definitivamente susceptible al ablandamiento cíclico.

Todas las muestras caen fuera de la zona de susceptibilidad. En la **Figura 16**, se presenta la posición de las muestras dentro de la carta de Bray.

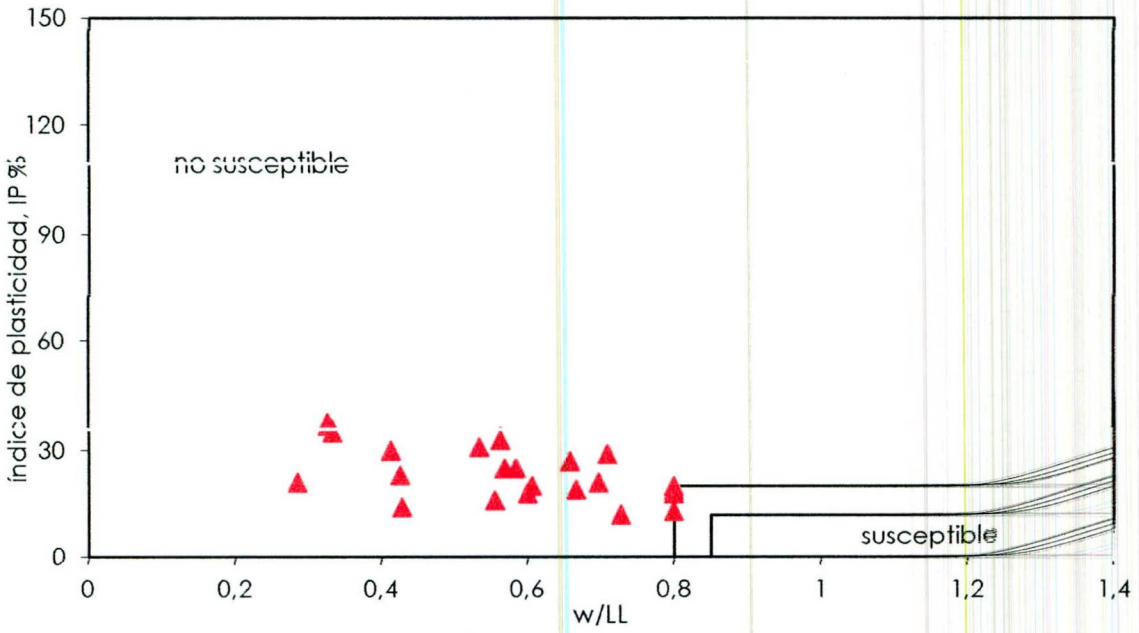


Figura 16–Evaluación del potencial de ablandamiento[12]

5.2.2.2 Arena

Para que un suelo presente licuación deben cumplirse todas las características siguientes:

a) Grado de Saturación del 100%
b) Grado de compactación bajo (N<10 golpes/pie)
c) Nivel Freático
d) Contenido de finos inferior a 10%
e) Posición de la capa licuable superficial
f) Magnitud del Movimiento igual o superior a 5.5

[12] FUENTE: elaboración propia

494

Las capas de arena encontradas en el lote del proyecto, son de densidad media, con un importante contenido de finos, por lo que su susceptibilidad a la licuación es de baja a nula. No obstante, lo anterior, se hace el análisis acudiendo a los *Métodos de Seed&Idriss (1971)*

$$CSR = \frac{\tau_{cm}}{\sigma_v'} = 0.65 \frac{\sigma_v a_{max}}{\sigma_v' g} rd$$

CSR	=	Relación de Tensión Tangencial Cíclica
τ_{cm}	=	Esfuerzo cortante cíclico medio
σ_v	=	Esfuerzo total
σ'_v	=	Esfuerzo efectivo
a_{max}	=	Aceleración máxima horizontal
g	=	Aceleración de la gravedad
r_d	=	Factor de reducción con la profundidad

$$(N_1)_{60} = N \cdot c_N \cdot c_E \cdot c_B \cdot c_R \cdot c_S$$

$(N_1)_{60}$	=	SPT normalizado para una presión de 10t/m² y 60% de energía eficaz
c_N	=	$(Pa/\sigma'_v)^{0.5}$
Pa	=	Presión atmosférica
c_E	=	(N_{45}/N_{60})
c_B	=	1.0
c_R	=	0.75
c_S	=	1.0

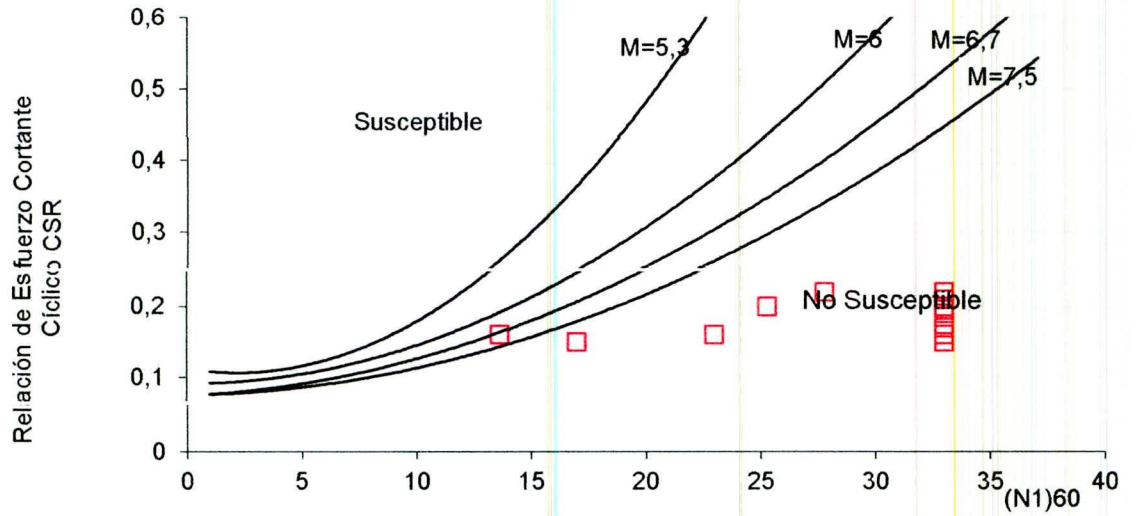


Figura 17–Susceptibilidad a la licuación[13]

[13] FUENTE: elaboración propia

495

5.3 Caracterización geotécnica

En la **Figura 18** se presenta el mapa geotécnico de la zona, en el que se describen los suelos como Depósito de ladera, lo cual es consistente con lo encontrado en la presente investigación y se enmarca, además, con la geología local presentada en este documento.



Figura 18–Mapa geotécnico de la zona[14]

Tabla 9–Descripción de la zona geotécnica[15]

Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotecnico general
Depósitos Suelo de ladera	Depósitos Suelo de ladera	Depósito ladera	Cerros	Gravas areno arcillosas compactas	Suelos de mediana capacidad portante susceptibles a problemas de estabilidad de taludes

Las propiedades básicas se presentan en la **Tabla 10**.

Tabla 10–Propiedades básicas y clasificación

Perf	Zi	Zf	LL	LP	IP	ω	γ	Granulometría %			USCS
								Grava	Arena	Finos	
S-14	0,2	0,6	47	24	23	20	1,41				CL
S-15	0,2	0,6				8	1,48	43,1	39,9	17,1	CS
S-13	0,4	0,7				19	1,83				
S-6	0,2	0,8				23	1,97				
S-8	0,2	0,9				42	1,71				
S-6	0,0	1,0	31	12	19	25	1,70				CL
S-8	0,1	1,0	33	14	19	22	1,94				CL
S-15	0,9	1,1				14	2,02	7,5	23,9	68,5	G
S-13	1,1	1,3	35	21	14	15	2,02				CL
S-14	1,4	1,7	44	19	25	25	1,86				CL
S-13	1,4	1,9	46	16	30	19	1,81		14,7	85,3	CS
S-10	1,5	2,1	55	26	29	39	1,61				CL
S-6	1,6	2,2				14	2,05				

[14] FUENTE: SIRE https://www.sire.gov.co/

[15] FUENTE: Decreto 523 de 16 de dic 2010, Alcaldía Mayor de Bogotá

496

Tabla 10–Propiedades básicas y clasificación

Perf	Zi	Zf	LL	LP	IP	ω	γ	Granulometría %			USCS
								Grava	Arena	Finos	
S-7	1,7	2,3	34	14	20	30	1,85				CL
S-9	1,7	2,3	24	11	13	21	1,96				CL
S-5	2,0	2,6				13	1,94	29,3	44,8	25,9	CS
S-6	2,0	3,0	36	11	25	21	1,95				CL
S-8	2,0	3,0				7	2,03	49,7	21,9	28,4	
S-14	2,7	3,0	51	16	35	17	1,88	0,8	22,9	76,3	CH
S-8	2,5	3,1	35	17	18	21	1,92				CL
S-7	3,3	3,9	35	14	21	10	2,17	46,1	31	22,9	CL
S-9	3,3	3,9				13	1,88	6,4	31,8	61,8	
S-10	3,5	4,1	45	14	31	24	1,84				CL
S-5	3,6	4,2				13	2,19	28	64,8	32,3	SC
S-8	4,1	4,7				8	2,06	21,3	32,1	46,7	C
S-7	4,1	4,9	48	15	33	27	1,89				CL
S-6	4,0	5,0				16	2,04	37	24,4	38,6	SG
S-7	4,9	5,5				10	2,16				
S-5	5,2	6,0				10	2,09	84	9,1	6,9	G
S-10	5,1	6,0	49	12	37	16	2,24				CL
S-8	5,7	6,3				19	1,97				
S-7	6,5	7,1	38	11	27	25	1,92				CL
S-10	6,8	7,4				6	2,24	66,3	14,3	19,4	G
S-5	7,0	7,6	33	13	20	20	2,00	5,7	26,6	67,8	CS
S-8	7,3	7,9	33	12	21	23	1,90		17,5	82,5	CS
S-7	7,3	8,0	27	11	16	15	2,07				CL
S-7	7,3	8,0	22	7	15	16	2,06		47,6	52,4	CS
S-8	6,0	8,0				22	1,97		11,6	88,4	CS
S-8	8,1	9,0				17	1,98		25,9	74,1	CS
S-7	8,9	9,5	28	10	18	27	1,88				CL
S-8	10,2	11,0				8	2,17		66,6	33,4	SC
S-7	10,7	12,0				7	2,10	2,5	52,4	45,1	SC

CONVENCIONES

Perf	Perforación	IP	Índice de plasticidad, %	γ_d	Peso unitario seco, ton/m³
Z	Profundidad, m	ω	Humedad natural, %	e_o	Relación de vacíos
LL	Límite líquido, %	Gs	Gravedad específica	S	Grado de saturación, %
LP	Límite plástico, %	γ	Peso unitario total, ton/m³	USC	Clasificación unificada de suelos

En los numerales anteriores se hizo una descripción somera de las características de la edificación por construir, la magnitud de las cargas involucradas de la estructura y los principales aspectos constructivos por atender. También se ha hecho un análisis de los suelos encontrados y de sus características geotécnicas. Ahora se presentan las recomendaciones tendientes a lograr una cimentación segura.

6. RECOMENDACIONES

6.1 Determinantes en el planteamiento de la solución

Los suelos de la zona son caracterizados como de depósito de ladera. En el caso

497

presente, predomina la arcilla en superficie con numerosas capas granulares más frecuentes con la profundidad.

El agua libre subsuperficial apareción en algunas de las perforaciones a profundidades cercanas a 3.0m; las mediciones piezométricas inidicarton nivelesmás estables a más de 10.0m de profundidad .

Los suelos encontrados no presentan características especiales; se descartaron expansividad y licuación; por tanto, no se harán correcciones específicas sobre estos aspectos.

La zona de construcción del aula, plazoleta y sendero presenta pendientes moderadas cercanas a 4°.

El carácter de reserva arqueológica impone severas restricciones para el desarrollo de las obras. Existen en el área restos arqueológicos de invaluable riqueza cultural, que limitan la intervención: no habrán explanaciones, cortes, ni movimientos de tierras. Para ellos los arquitectos e ingenieros diseñadores han planteado estructuras que se adapantan a la topografía local existente, en general elevando la placa de primer piso por sobre el nivel del terreno natural.

De la misma manera, la cimentación deberá ser lo menos invasiva posible; se plantea un sistema de pilotes de corta longitud y pequeño diámetro, que desarrollen du capacidad, parte por fricción y parte por punta.

Los requerimeientos de carga, por columna, serán moderados, por tanto es posible lograr una disipación de cargas con elementos razonablemente pequeños.

Los pilotes propuestos pordrán ser ejecutados con equipo manual, de mediana capacidad, lo cual garantiza el acceso a los materiales competentes sin mayores dificultades y con la posibilidad un examen detallado de los materiales extraídos.

6.2 Cimentación

La cimentación contempla dos opciones: pilotes cortos que pueden usarse para las cargas mayores en las zonas de plazoleta y aula.

Para los senderos, que son unidades de forma triangular, articuladas sucesivamente, con apoyos prefabricados en concreto a la manera de pequeños dados piramidales. Estas unidades han sido diseñadas de manera que puedan ser movibles para alterar la dirección del sendero. En este caso, bastará con hacer una adecuación puntual consistente en la remoción de la capa más enraízada,

498

eventualmente restitución para niveleación y recompactación.

6.2.1 Pilotes

La cimentación se resolverá mediante pequeños pilotes como se recomienda enseguida:

- Los pilotes podrán ser pre-excavados mediante equipo manual.
- La capacidad admisible de los pilotes, desarrollada por fricción y por punta, será la consignada en la siguiente tabla.

Tabla 11–Capacidad admisible de pilotes, PA (ton)

Longitud Efectiva de Pilote	Capacidad Admisible, P_A (ton)		
	d=0.3 m	d=0.4 m	d=0.5 m
L= 3.0m	7,1	10,6	14,6

- Todos los elementos de la cimentación serán fundidos en concreto cuya resistencia mínima será 3500psi.
- El refuerzo longitudinal de los pilotes se prolongará a lo largo de la longitud total y variará entre 0.005 y 0.010 del área de la sección transversal del pilote, de acuerdo con las solicitaciones de carga en cada caso.
- El esfuerzo de la pila deberá mantenerse por debajo de fc <0.25 f'c
- El asentamiento esperado para esta solución será cercano a los 4cm

6.2.2 Zapatas

Para efectos de comparación, se incluye una solución a base de zapatas.

- Las columnas se cimentarán sobre zapatas diseñadas para una capacidad admisible:

  Zapatas individuales cuadradas: σ_{a1} =9.3 ton/m^2

- La profundidad de cimentación será

  D_{f1}=0.8m

- Los fallos (rellenos, material orgánico, húmedo, blando) presentes a nivel de cimentación deberán removerse; el nivel de cimentación se recuperará

409

mediante la adición de material seleccionado (rajón, recebo, concreto ciclópeo). Se hace referencia en especial al sitio de la perforación S-12 que tiene 1.1m de limo orgánico.

- El estrato de fundación será el descubierto al excavar previa comprobación de su calidad, que en este caso estará constituido por la arcilla arenosa color marrón amarillento.

- El piso de fundación será revisado cuidadosamente; en caso de encontrarse material inadecuado, este será retirado y reemplazado por concreto ciclópeo.

- El módulo de reacción de la subrasante, a nivel de cimentación, estará dado por

  Ks=2500/B ton/m^3, en donde B es la dimensión menor del cimiento

- Los asentamientos esperados para esta solución serán del orden de los 4 cm.

- Los rellenos necesarios sobre los cimientos, o en sus cercanías, deberán realizarse en material seleccionado, tipo recebo, debidamente compactado.

6.3 Procedimiento constructivo

6.3.1 Generalidades

Las actividades para construcción de cimentación serán menores; no habrá lugar a explanaciones cortes o grandes excavaciones, habida cuenta de las restricciones que impone el escenario de conservación arqueológica. Todo el proyecto arquitectónico se ha acomodado a la topografía local, para mantener al máximo la premisa protección de la reserva cultural en donde las obras deberán garantizar una invasión limitada.

De acuerdo con esto, la excavación mayor no será de más de 1.0m. La estabilidad se puede evaluar atendiendo los criterios de equilibrio de esfuerzos para las capas limo arcillosas superficiales que componen los primeros metros del depósito y sobre los cuales se desarrollará parte de la cimentación. Los resultados se reproducen en la **Figura 9**.

500

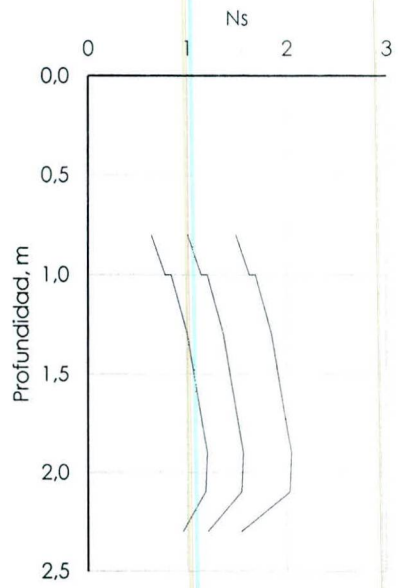


Figura 19–Factores de estabilidad de cortes (Taylor)

Cuando Ns alcanza valor de 3, se inicia la plastificación de las arcillas, presentándose desprendimientos locales por desecación y agrietamientos de los taludes expuestos; la falla de fondo se da cuando Ns=6. Los resultados indican que para una excavación de 1.0m se tendrá un factor de seguridad adecuado.

- Las excavaciones no se deben dejar abiertas más allá del tiempo estrictamente necesario; se debe contar con equipos de bombeo para mantener drenada la caja.

- Para la fase de construcción de la cimentación se recomienda contar con la asesoría del ingeniero geotecnista

- Para cualquiera de las opciones de cimentación, el piso de fundación debe ser autorizado por el ingeniero geotecnista.

6.3.2 Construcción de pilotes

- Seleccionar un pilote para que sirva de piloto y de acuerdo con las observaciones realizadas en su ejecución, ajustar las recomendaciones para la construcción de la totalidad del pilotaje.

- Para garantizar la representatividad del muestreo del sub-suelo: se deben tomar muestras de suelo cada metro, estas tienen que estar claramente identificadas particularmente la profundidad fueron extraídas. Se debe registrar la profundidad a la cual se encuentra el nivel freático (eventual) . En

501

este punto se requerirá de la visita del ingeniero de suelos.

- Por su longitud y calidad de los materiales no se prevé el uso de elementos de estabilización. El pilote debe ser fundido, en lo posible el mismo día de su perforación. Para ello se recomiendar no inciar la excavación si no se tienen disponibles los refuerzos y el concreto.

- En aquellos puntos que presenten inestabilidad, se debe optar: primero estabilización con agua; segundo encamisado. Con esto se garantizará la estabilidad durante la fundida, evitando expansiones excesivas. Los lodos bentonitos o polímericos no son la primera opción ya que su manejo en un entorno de las restricciones del parque arqueológico, pueden generar complicaciones relacionadas con las protecciones mínimas exigidas por las autoridades ICANH.

- Debe existir un minucioso control de expansión y desperdicio de concreto. Ello permitirá conocer los eventuales tramos con mayor sensibilidad.

- La perforación de pilotes de un mismo grupo debe ser alternada: no se fundirá un pilote de un mismo grupo hasta que no hayan transcurrido al menos 24 horas de fundido el anterior. Se busca que el concreto haya fraguado y encontrado un nivel de resistencia adecuado.

6.3.3 Construcción de zapatas

. Preparar la superficie con la horizontalidad suficiente para replantear las zapatas.

. Se debe tener conocimiento de zonas blandas o con comportamientos anormales que puedan dificultar la ejecución de los trabajos de cimentación. Se recomienda realizar inspecciones detalladas y recompactación del terreno para detectar estas anomalías. Convendrá entonces realizar unas perforaciones, barrenos o apiques, para comprobar las condiciones de suelos superficiales descritas en este informe.

. Del mismo modo, deberá tenerse conocimiento previo de la posible existencia de aguas entrapadas o encharcamientos para realizar los achiques necesarios. Deberá también considerarse la existencia de cimentaciones cercanas y los servicios afectados que puedan perjudicar la ejecución de las tareas.

. Después de efectuar el replanteo de la zapata, se inicia la excavación con equipo mecánico o manual, según la disponibilidad; por la profundidad

502

limitada de excavación se pueden plantear excavaciones verticales.

- Al alcanzar el fondo de la excavación, este se nivela y se comprueba si el terreno, considerando las condiciones de esfuerzos admisibles del proyecto, es el previsto para efectuar la cimentación. Debe verificarse que la apariencia del piso de fundación sea la misma descrita en el estudio de suelos.

- Las dimensiones de las zapatas deben ser las de los planos, con una tolerancia, positiva o negativa, de 5cm.

- Las tareas de excavación del fondo y laterales se efectúan inmediatamente antes del vertido del hormigón de limpieza, para impedir así que el terreno de cimentación sufra cualquier deterioro. Se procura mantener abierta la excavación el menor tiempo que sea posible.

- Si la excavación para la zapata debe permanecer abierta por tiempos prolongados, se recomienda recubrir sus paredes con malla común y mortero.

- Sobre el piso de la excavación se debe colocar el concreto pobre de limpieza con un espesor de 0.05m o el necesario para nivelar la superficie.

- Para las eventuales placas de contrapiso la excavación será la necesaria para satisfacer los requerimientos de cota 0.00m del proyecto arquitectónico. Si la superficie encontrada presenta condiciones inadecuadas se puede proceder a su remoción total, incrementando el espesor del recebo de apoyo en una cantidad suficiente para recuperar la cota de proyecto.

7. MATERIALES PARA RELLENO

Se ha mencionado la necesidad de utilizar rellenos en las actividades de adecuación del terreno de cimentación y construcción. Las características de estos materiales se presentan enseguida.

7.1 Ciclópeo

En cuanto a las calidades del concreto ciclópeo (como relleno o lastre o submuración), sugerimos lo siguiente:

El concreto debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia a la

503

compresión especificada en los planos; se sugiere no inferior a 2500psi.

Los requisitos para comprobar la resistencia del concreto, deben basarse en pruebas de cilindros de acuerdo con los métodos AASHTO o ASTM, la resistencia a la compresión del concreto se basará en pruebas a los 28 días.

El concreto ciclópeo es una combinación de concreto de cemento de m oderada resistencia y piedras grandes de tamaño no mayor de 30 centímetros.

El volumen total de piedra no debe exceder de un tercio (1/3) del volumen total del concreto ciclópeo y 67 de piedra. Las piedras pueden ser partidas o canto rodado (piedra bola), limpias y de peso específico elevado.

7.2 Rajón

Los materiales a emplear deberán proceder de fuentes autorizadas por la dirección técnica o interventoría de la obra.

- Serán fragmentos angulares de roca sana, compacta, resistente y durable.
- Se usará preferiblemente areniscas duras, cuarzosas.
- El diámetro nominal de los fragmentos oscilará entre 4" y 6".
- El porcentaje en peso de partículas menores al tamiz de 1" será inferior al treinta por ciento. 30.
- El porcentaje en peso de partículas que pasen por el tamiz No. 200 será inferior a 10.

El rajón se debe colocar a mano, procurando cubrir toda la zona afectada. Una vez extendido el rajón se compacta con equipo pesado, hasta que el material se incruste en la subrasante; se deben colocar tantas capas como sea necesario hasta liberar la superficie del fallo.

7.3 Material granular seleccionado

Este material debe cumplir con las exigencias establecidas en el Artículo 311 de las especificaciones técnicas del INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Se colocará solo para alcanzar las cotas establecidas en el proyecto arquitectónico.

8. MEDIDAS PREVENTIVAS

Durante el proceso de excavación y construcción se recomienda implementar un plan de seguimiento y monitoreo documentado que tenga en cuenta las

504

diferentes etapas constructivas, de tal manera que si se advierten síntomas de inestabilidad geotécnica o estructural se puedan tomar los correctivos necesarios y se pueda hacer un seguimiento por parte de las autoridades competentes. Como medidas preventivas se indican las siguientes:

- Construir el cerramiento en materiales adecuados. Demarcar la obra con cinta reflectiva, malla o las áreas externas a la obra que impliquen algún uso de la obra misma.

- Demarca los accesos: definir senderos peatonales con un ancho no inferior a 1.0m. Señalizar dichos senderos y cruces

- Aislar totalmente las áreas de excavación activas. Para la excavación de los cimientos es importante contar con sistemas de iluminación que permitan la visualización del área.

- Se debe asegurar la estabilidad de las paredes bajo todas las condiciones de trabajo utilizando, siempre, sistema de entibado continuo con puntales transversales y aún diagonales en las esquinas; el sistema será de madera o metálico o una combinación de los dos.

- El terreno descubierto permanecerá constantemente drenado utilizando para ello un equipo de bombeo adecuado. La base de la excavación será recompactada, los fallos que se presenten serán removidos y reemplazados por material seleccionado.

- Al observarse algún síntoma de inestabilidad que pueda comprometer la construcción vecina, se procederá a submurar con concreto ciclópeo.

- Debe programarse un control topográfico que incluya el monitoreo de la obra como de sus vecinos, incluyendo las vías perimetrales. Dicho control incluirá tanto tendencias verticales como horizontales.

9. PLAN DE CONTINGENCIAS

El movimiento de maquinaria, equipos y volquetas en el lote, puede originar molestias en la obra y sus vecindades, las cuales deben ser verificadas y atendidas, tomando los correctivos necesarios en el uso de la maquinaria y equipos.

Se debe prestar atención al comportamiento de las vías y construcciones vecinas. En caso de registrarse asentamientos, deformaciones, presencia de grietas, se deberán: suspender las tareas de excavación y adecuación; se

405

revaluará el proceso constructivo, particularmente la velocidad de su desarrollo; se optará por ajustar las etapas de adecuación y/o excavación; podrán realizarse labores de entibado y apuntalamiento.

La planeación de obra debe garantizar el suministro temprano de los materiales y equipos requeridos para la conformación de los terraplenes, evitando que las excavaciones permanezcan abiertas más allá del tiempo estrictamente necesario.

Se recomienda contar con asesoría geotécnica para las tareas de excavación, y construcción de pilotes, adecuación del piso de fundación y construcción de la cimentación.

10. FACTORES DE SEGURIDAD

El factor de seguridad en geotecnia es un concepto que tiene varios matices: para los taludes puede calcularse como la relación entre los momentos resistentes y los momentos desestabilizantes, mientras que para las cimentaciones superficiales, el factor de seguridad F es la resultante de la capacidad de carga, q_u, y la carga actuante Q, ninguna de ellas evaluada en función de F. Como la evaluación de los esfuerzos cortantes no es lineal, por lo menos en ϕ, el factor de seguridad básico, Fsb, resulta distinto al Fsi, que en ningún caso deberá ser inferior a los valores consignados en la tabla H.2.4-1.

Tabla 12–Factores de seguridad indirectos[16]

Condición	FSICP Mínimo Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta +Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal +Sismo de diseño Seudo estático	1.5

Tabla 13–Factores de seguridad básicos mínimos[17]

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + carga Viva Máxima	1.25	1.10(*)	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo Estático	1.10	1.00	No se permite	No se permite
Taludes - Condición estática y Agua subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo estática con agua Subterránea normal y coeficiente sísmico de Diseño	1.05	1.00(*)	No se permite	No se permite
(*) Nota: los parámetros sísmicos seudo estáticos de construcción serán el 50 de los diseños				

[16] FUENTE: (H.4.7-1, NSR10)
[17] FUENTE: NSR-10

506

El mapa de amenaza sísmica de Colombia, se presenta en la **Figura 21**.

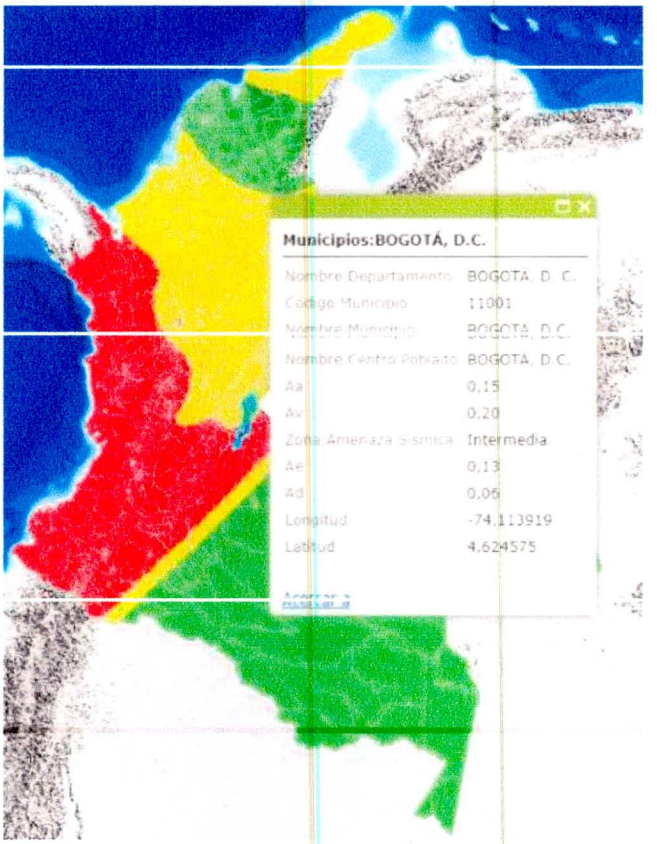


Figura 21–Mapa amenaza sísmica NSR-10

11.2 Microzonificación sísmica de Bogotá

En el Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá (Decreto 523 de 16 de diciembre de 2010), el lote del proyecto se asienta sobre suelos de la zona Depósito de Ladera.

Tabla 15–Coeficientes para diseño sísmico (Decreto 523 de 2010)

Zona	Coef. Amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos	Coef. Amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios	Periodo corto	Periodo largo	Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie
	F_a (475)	F_v (475)	T_C (s)	T_l (s)	A_0(475) [g]
Depósito de ladera	1.65	1.70	0.66	3.0	0.[illegible]
PIEDEMONTE C	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24

507

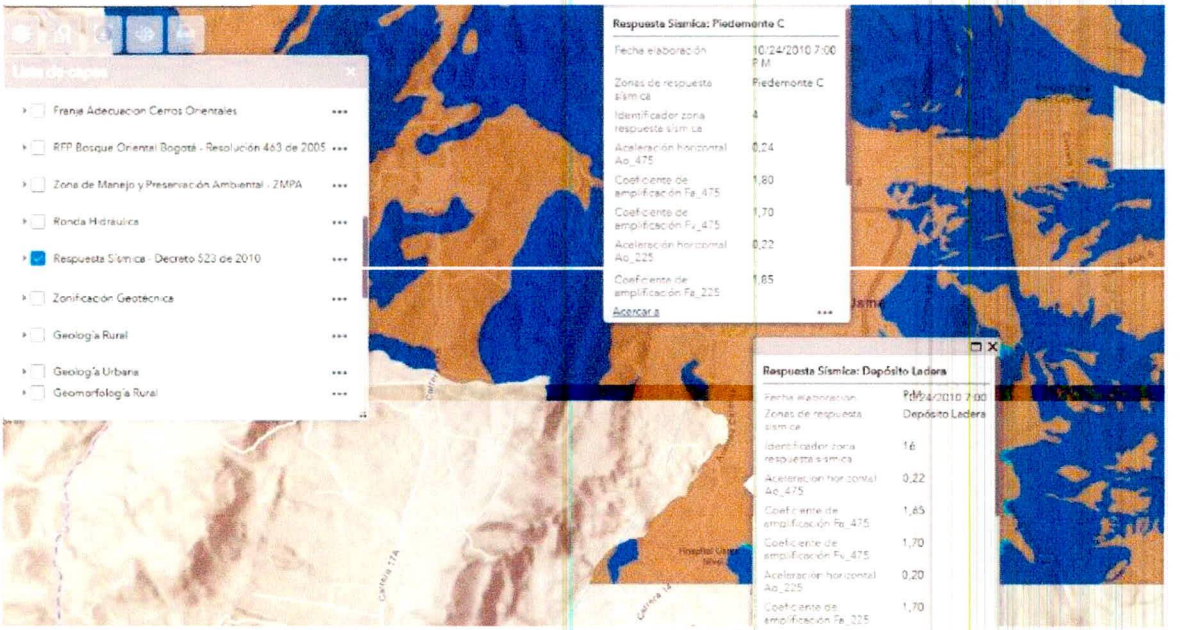


Figura 22–Mapa de respuesta sísmica

11.3 Definición del perfil del suelo

En el artículo 5.7 se establecen los siguientes criterios para reclasificar el perfil de suelo, cuando se trata de las zonas Cerros, Piedemonte (A, B, C) y Depósito de Ladera:

- Para espesores de suelo menores a 6.0m será Zona Cerros
- Para espesores de suelo comprendidos entre 6.0m y 12.0m, Ladera
- Para espesores superiores a 12.0m la zona será Piedemonte: A, B o C según *corresponda con su cercanía geográfica.*

En el estudio de amenaza riesgo y vulnerabilidad (CI INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CAMBIO CLIMÁTICO, Agosto de 2024), se presentaron 10 líneas de reacción sísmica. De acuerdo con los resultados de esta exploración, no se registraron velocidades de onda de cortante, vs≥750m/s, en los primero 12m del depósito, por lo que el perfil de suelos deberá ser PIEDEMONTE C.

En el perfil H-1 del estudio de CI INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CAMBIO CLIMÁTICO, Agosto de 2024 se muestra la secuencia de los estratos.

5088

SECCIÓN H-I

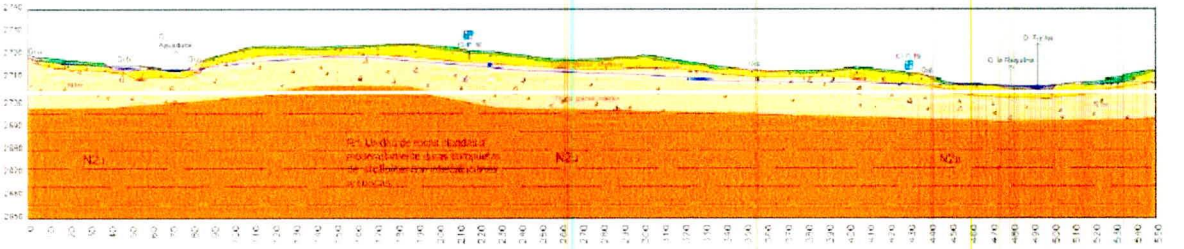


Figura 23–Perfil del modelo geológico geotécnico

Tabla 16–Velocidad de onda de cortante

Línea sísmica	estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Profudidad de mayores velocidades, m
CI-LRS-1	184	308	829	13
CI-LRS-2	193	502		13
CI-LRS-3	152	298	682	16
CI-LRS-4		560	1017	8
CI-LRS-5		293	736	12
CI-LRS-6	201	299	630	13
CI-LRS-7	350	671	1290	12
CI-LRS-8	144	289	638	19
CI-LRS-9	179	417	720	16
CI-LRS-10	197	363	702	12

Tabla 17–Equivalencia microzonificación sísmica y NSR-10

Zona de microzonificación	Periodo fundamental (seg)	Perfil del suelo (NSR-10)
1. Cerros	<0.3	TIPO C
2. Piedemonte A	0.3 – 0.6	TIPO D
3. Piedemonte B		
4. Piedemonte C		
5. Lacustre 50	1.0 – 1.5	TIPO F
6. Lacustre 100	2.5 – 2.5	
7. Lacustre 200	2.5 – 3.5	
8. Lacustre 300	3.5 – 4.5	
9. Lacustre 500	4.5 – 6.5	
10. Lacustre Aluvial 200	2.0 – 3.0	
11. Lacustre Aluvial 300	3.0 – 4.0	
12. Aluvial 50	0.4 – 0.8	
13. Aluvial 100	0.8 – 1.2	
14. Aluvial 200	1.5 – 2.5	
15. Aluvial 300	2.5 – 4.0	
16. Depósito de ladera	< 0.3	TIPO D

En el caso presente no se pudo confirmar la velocidad de onda de roca, tal como lo requiere el citado articulo, de manera lque se adopta a condición del piedemonte más cercano, en este caso Piedemonte C. En estas circunstancias, corresponde el perfil Tipo D de la NSR-10 para los aspectos no contemplados en la Microzonificación sísmica de Bogotá.

509

Tabla 18–Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición	Suelos Tipo F
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s$>\bar{v}_s \geq$760 m/s	
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante o,	760 m/s$>\bar{v}_s \geq$360 m/s	
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa ($\cong$1kgf/cm^2)	F_1- Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera con el criterio de velocidad de la onda de cortante o,	360 m/s$>\bar{v}_s \geq$180 m/s	F_2- Arcillas de muy alta plasticidad (H>7.5m con índice de plasticidad IP>75)
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50>\bar{N} \geq 15$ o 100 kPa ($\cong$1kgf/cm^2)$>\bar{s}_u \geq$50 kPa ($\cong$0.5kgf/cm^2)	F_3- Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H>3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante o,	180 m/s$>\bar{v}_s$	F_4- Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H>36m)
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas	IP>20 w≥40 50 kPa ($\cong$0.5kgf/cm^2)$>\bar{s}_u$	FUENTE: (A.2.4-1,NSR-10)

12. OTRAS RECOMENDACIONES

Los valores de diseño y las recomendaciones aquí contenidas, están basadas en las exploraciones de campo y laboratorio. En caso de presentarse alguna diferencia que pueda alterar el normal desarrollo de los trabajos, esta deberá ser consultada al Ingeniero de Suelos para su consideración y análisis.

WILLIAM ARIZA JIMÉNEZ
Matricula profesional No. 25202-286427 CND
Bogotá D.C. diciembre 2024

510