ARQUITECTURA

PROYECTO
PARQUE DE ARTES Y OFICIOS PAO



INFORME ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO
UNIDAD DE ACTUACIÓN URBANISTICA 2 – TEATRO

edeso
Empresa de Desarrollo Sostenible

Área Metropolitana Valle de Aburrá

Alcaldía de Bello

Medellín, marzo 2022

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Elaboró:	Fecha	Marzo de 2022
	Nombre	Marlon M. Agámez Agámez
	Ingeniero Civil., Esp. Geotecnia	
	Matrícula Profesional	13202203754BLV
	Firma ORIGINAL FIRMADO	
	Fecha	
	Nombre	
	Matrícula Profesional	
	ORIGINAL FIRMADO	

Las observaciones que resulten de la revisión y aplicación del presente informe, deben ser informadas al Ingeniero civil Marlon M. Agámez Agámez, para proceder a realizar las modificaciones a que haya lugar.

TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 7
2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO 8
2.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 9
2.2 METODOLOGÍA 11
3 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA 12
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL 12
3.1.1 Dunita de Medellín (JKUM) 12
3.1.2 Depósitos de vertiente (QvIII, QvIV) 13
3.1.3 Depósitos aluviales (Qal) 14
3.1.4 Depósitos aluviotorrenciales (Qat) 14
3.1.5 Llenos antrópicos (Qll) 15
3.2 GEOLOGÍA LOCAL 17
3.2.1 Depósitos aluviales *(Qal):* 17
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 21
3.3.1 Geología estructural regional 21
3.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 22
3.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL 25
3.5.1 Análisis morfométrico 25
3.5.2 Subunidades geomorfológicas 30
4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 32
4.1 EXPLORACIÓN DIRECTA 32
4.2 EXPLORACIÓN INDIRECTA 34
4.2.1 Generalidades 34
4.2.2 Metodología 36
4.2.3 Procesamiento de datos 41
4.3 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO 45
4.3.1 Lleno antrópico 46
4.3.2 Horizonte 1 – Llanura de Inundación 47
4.3.3 Horizonte 2 – Depósito aluvial 47
4.4 CONSISTENCIA Y CONTINUIDAD DE LOS ESTRATOS 48
4.5 NIVEL FREÁTICO 50
4.6 ENSAYOS DE LABORATORIO 50
4.6.1 Ensayos de clasificación 50

4.6.2 Ensayos de resistencia 52

4.7 CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE ACUERDO CON LA NSR-10 53

5 MODELO GEOTÉCNICO 55

5.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DEL SUELO 55

5.2 PERFIL GEOLÓGICO GEOTECNICO Y PARÁMETROS GEOMECÁNICOS PROPUESTOS 56

6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIONES 57

6.1 SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS 57

6.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZAPATAS EXISTENTE 58

6.3 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZAPATAS DE LA NUEVA ESTRUCTURA 61

6.4 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE MICROPILOTES PARA REPOTENCIACIÓN 63

6.5 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA PARA PILAS DE CIMENTACIÓN PARA LA EDIFICACIÓN PROYECTADA 68

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 71

7.1 EVALUACIÓN DE LAS CIMENTACIONES 71
7.1.1 Cimentaciones superficiales existentes 71
7.1.2 Cimentaciones superficiales existentes 71
7.1.3 Cimentaciones profundas – micropilotes 71
7.1.4 Cimentaciones profundas – pilas 71
7.1.5 Afectación por vegetación presente 72

7.2 PARÁMETROS SÍSMICOS 72

7.3 RECOMENDACIONES PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES 72

7.4 RECOMENDACIONES PARA MICROPILOTES 73

7.5 RECOMENDACIONES PARA LAS PILAS PRE-EXCAVADAS 73

7.6 CONTROLES Y VERIFICACIÓN 74

8 LIMITACIONES 75

9 BIBLIOGRAFÍA 76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localización del Proyecto 10

Figura 2. Mapa de Unidades Geológicas Regionales. 16
Figura 3. Mapa de Unidades Geológicas Locales. 20
Figura 4. Mapa de Unidades Geomorfológicas Regional. 24
Figura 5. Histograma de Elevación. 25
Figura 6. Mapa de Elevaciones. 26
Figura 7. Histograma de Pendientes. 28
Figura 8. Mapa de Pendientes. 29
Figura 9. Mapa de subunidades geomorfológicas. 31
Figura 10 Ubicación de los sondeos 32
Figura 11 Mapa de exploración Indirecta. 35
Figura 12. Figura demostrativa de un Sismograma en un tendido sísmico de 24 canales, el disparo se ha efectuado entre los geófonos 12 y 13. 38
Figura 13. Sismógrafo Terralock Pro de 24 Canales. 39
Figura 14 Línea de refracción sísmica - 01. 42
Figura 15 Línea de refracción sísmica - 02. 43
Figura 16 Interpretación línea sísmica - 01. 44
Figura 17 Interpretación línea sísmica - 02. 45
Figura 18 Disposición de las unidades estratigráficas en cada una de las perforaciones 46
Figura 19 Variación del número de (N) con la profundidad 49
Figura 20 Variación de las propiedades índice con la profundidad del depósito 51
Figura 21 Potencial de expansión del material fino del depósito 52
Figura 22 Espectro de Aceleraciones. (Se considera Importancia de grupo de uso II) 54
Figura 23 Perfil geológico-geotécnico a considerar en la zona 56
Figura 24 Detalle de zapata tipo 1 57
Figura 25 Esquema de repotenciación con micropilotes 58
Figura 26 Metodología de Hansen y Meyerhof. 59
Figura 27 Valores de α para el cálculo de asentamientos elásticos 60
Figura 28 Capacidad de carga de las zapatas existentes 61
Figura 29 Capacidad de carga de las zapatas para la nueva estructura 62
Figura 30 Modulo de balasto para las zapatas para la nueva estructura 62
Figura 31 Factor empírico de ensanchamiento del micropilote 65
Figura 32 Evaluación de la capacidad de carga micropilotes individuales 67
Figura 33 Capacidad de carga de las pilas pre-excavadas 70
Figura 34 Módulo de balasto de las pilas 70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fotografías generales de reconocimiento del terreno. 8
Tabla 2. Perfil de meteorización de la Dunita de Medellín. 13
Tabla 3. Rangos de pendiente para clasificación geomorfológica. 27
Tabla 4 Registro fotográfico de la exploración directa realizada en la zona de estudio 33
Tabla 5 Profundidad y medida del nivel freático de los sondeos directos realizados como complemento a la exploración existente. 34
Tabla 6 Coordenadas de ubicación de la línea de Refracción sísmica. 36
Tabla 7 Propiedades del suelo a partir del ensayo SPT 48
Tabla 8 Clasificación de suelos expansivos (Tabla H.9.1-1 de la NSR-10) 50
Tabla 9 Resultados de ensayos de laboratorio, ensayos de clasificación 51
Tabla 10 Resumen ensayos de resistencia 53

Tabla 11 Clasificación del perfil de suelo según la NSR 10. ..... *53*
Tabla 12 Coeficiente de amplificación horizontal NSR-10. ..... *54*
Tabla 13 Coeficiente de amplificación vertical NSR-10. ..... *54*
Tabla 14 Parámetros geomecánicos de los materiales para diseño *56*
Tabla 15 Resistencia suelo - micropilote (fuste) última *64*
Tabla 16 Diámetro de la barra autoperforante *65*
Tabla 17 Factor de eficiencia *66*
Tabla 18 Separación mínima entre micropilotes *67*
Tabla 19 Clasificación sísmica del sitio según NSR 10. ..... *72*

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.Muestra de lleno antrópico, sondeo 2 - SPT. *18*
Fotografía 2. Muestra de Depósito aluvial fino granular (limo – arenoso), sondeo 2 – SPT. *18*
Fotografía 3. Muestra de Depósito aluvial fino granular (arcillo – arenoso), sondeo 1 – SPT. *19*
Fotografía 4. Muestra de Depósito aluvial de arena, sondeo 2 – SPT. *19*
Fotografía 5 Registros fotográficos de las líneas sísmicas realizadas. *40*
Fotografía 6 Lleno antrópico *46*
Fotografía 7 Horizonte 1 - Llanura de inundación *47*
Fotografía 8 Horizonte 2 - Depósito aluvial *47*

FP Oficina de Arquitectura S.A.S.
NIT 900698287-7

1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento se presenta un informe del estudio geológico-geotécnico para los diseños del proyecto *Parque de Artes y Oficios (PAO)- Edificio "Auditorio"* del municipio de Bello, Antioquia. Dentro del presente informe se incluyen los siguientes aspectos:

- Recorrido del lote y verificación de las condiciones particulares del mismo.
- Inspección de elementos de zapatas en campo.
- Análisis geológico, geomorfológico y parámetros morfométricos de la zona de estudio, información recopilada mediante recolección de información secundaria y recorridos de campo (levantamiento de campo).
- Determinación de características geotécnicas asociadas a la composición del material de la zona de estudio que influyan en su estabilidad, sistemas estructurales, potencial de asentamientos, entre otros. Para este fin, se ejecutaron cuatro (4) sondeos exploratorios, dos (2) de los cuales corresponden a perforaciones por roto-percusión con recuperación de muestras y los últimos dos (2) corresponden a líneas de refracción sísmica.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio del edificio proyectado como *Auditorio* dentro del proyecto PAO presenta una morfología intervenida antrópicamente con explanaciones, edificaciones y adecuaciones pertenecientes a los Antiguos Talleres del Ferrocarril de Antioquia (Tabla 1). Además, se identifican las características naturales del ambiente fluvial del terreno, con la presencia de depósitos aluviales finogranulares de la antigua llanura de inundación del *Rio Medellín*.

El proyecto consiste en la adecuación buscando una apropiada utilización y aprovechamiento de los antiguos talleres del Ferrocarril de Antioquia, para esto, se hace necesario una serie de estudios civiles a fin de determinar adecuadamente la intervención en las estructuras existentes (mampostería, acero y madera) que se presentan en el lugar. Dentro de los estudios a llevar a cabo, se encuentra el estudio geológico-geotécnico para la determinación de las condiciones actuales de las zapatas y de las obras necesarias para repotenciarlas acorde a las solicitudes estructurales proyectas sobre las mismas.

Tabla 1. Fotografías generales de reconocimiento del terreno.







Fuente: Campaña de exploración, Bioexplora S.A.S, (2021).

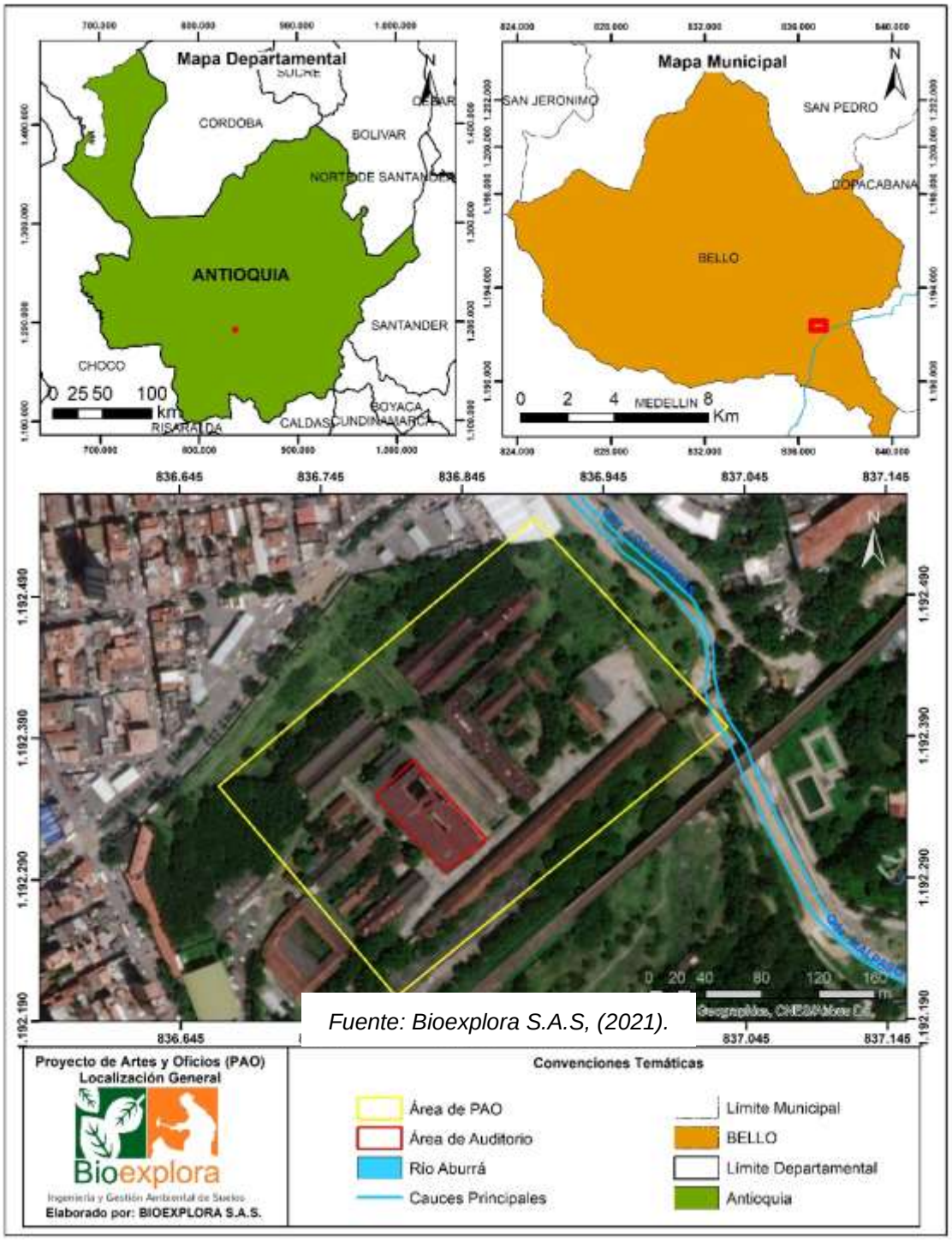
El área de estudio presenta elevaciones desde los 1416 msnm hasta los 1424 msnm, junto con una placa de concreto de 10 cm de espesor aproximadamente, dispuesta para la adecuación del terreno y la antigua infraestructura de la edificación que allí se encuentra.

2.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio que abarca el área comprendida por el edificio proyectado como *Auditorio* dentro del proyecto PAO, ubicado sobre la infraestructura de los Antiguos Talleres del Ferrocarril de Antioquia, se localiza en el norte del Valle de Aburrá dentro del departamento de Antioquia, sobre el municipio de Bello.

Esta área se encuentra cerca de la estación *Bello* del metro de Medellín, con coordenadas aproximadas de: **X:** 75°33'7.40"O y **Y:** 6°20'0.08"N (Sistema de coordenadas WGS-84) Figura 1.

Figura 1. Mapa de Localización del Proyecto



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

2.2 METODOLOGÍA

A continuación, se describen cada una de las actividades que se desarrollaron con el fin de dar cumplimiento al alcance:

- *Recopilación de información secundaria:*

Consulta y análisis de información geológica, geomorfológica, entre otros, de la zona del proyecto, a nivel local como regional.

- *Trabajo de campo:*

Levantamiento de información “in situ” y evaluación del terreno, mediante la observación de las características geológicas y geomorfológicas del sitio de interés y la realización de una serie de exploraciones, donde se incluye, además, la toma de muestras para los análisis geotécnicos pertinentes, la determinación de los perfiles geológicos y la identificación del nivel freático. En total se realizaron dos (2) sondeos exploratorios directos a roto-percusión, lo que permitió recuperación de muestras para los análisis respectivos; y se tuvieron también dos (2) sondeos exploratorios indirectos de refracción sísmica. Adicionalmente, se tuvo en cuenta las exploraciones existentes suministradas por el contratante.

- *Trabajo de oficina:*

Análisis de información secundaria y primaria recolectada y resultados de las pruebas de laboratorio fueron analizados con la finalidad de construir un modelo geotécnico del terreno.

- *Elaboración de informe:*

Se elabora el presente informe con los resultados de los análisis, correspondientes a la recopilación de información secundaria, primaria, trabajo de campo, y ensayos de laboratorio.

3 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA

A continuación, se describe de manera regional y local las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en los alrededores del área de estudio, junto con las unidades caracterizadas durante el levantamiento de campo, análisis morfológico, geotécnico y estructural.

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

Este capítulo explica las principales características geológicas que constituye las unidades cronoestratigráficas encontradas alrededor del área de estudio, dentro del municipio de Bello. Estas propiedades se encuentran cartografiadas a partir de la recopilación de información geológica y cartografía del área de estudio, los análisis de imágenes satelitales, análisis del Modelo de Elevación Digital (*MED*) y los recorridos de campo. El apoyo principal para este estudio corresponde al *Estudio de la microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado* (AMVA, 2007).

En los alrededores del área de estudio se encuentran rocas de diferentes edades, origen y composición, las edades cronoestratigráficas van desde el Paleozoico hasta los extensos depósitos cuaternarios; En cuanto a origen y composición se presentan rocas ígneas ultra básicas (dunitas), depósitos de vertiente, aluviales y Aluvio – Torrenciales, además de unidades correspondientes a llenos de origen antrópico.

A continuación, se describe cada una de las unidades presentes en los alrededores del área de estudio, identificando la ubicación geográfica, las características del relieve asociado, su composición y su perfil típico de meteorización. (*Figura 2*).

3.1.1 Dunita de Medellín (JKUM)

Aflora en el municipio en la zona del cerro Quitasol, así como en la vertiente suroriental del río Aburrá. Hace parte del complejo Ofiolítico del Cauca, es una roca de color verde claro a oscuro, textura afanítica, compuesta por olivino con variaciones locales a serpentina. Según el estudio elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (*AMVA*) en el 2007, se trata de un cuerpo de forma tabular en dirección SE-NW, limitada hacia el oeste por el cuerpo de Anfibolitas de Medellín a través de la Falla de Rodas, la cual evidencia una zona amplia de brechificación y cizallamiento en la autopista Medellín – Bogotá. Predominan en la unidad las fracturas con dirección de 115° y buzamiento entre 70°- 90°.

El relieve asociado a esta unidad es de tipo residual, con cerros de tope redondeado, filos poco alargados también de topes redondeados, pendientes poco continuas y zonas de rugosidades altas.

La litología desarrolla un perfil de meteorización que contiene todos los horizontes definidos en la metodología de clasificación de Deerman (1991), aunque predominan los horizontes IV, V y VI (AMVA, 2007). En la *Tabla 2* se presenta el perfil de meteorización típico para esta unidad.

Tabla 2. Perfil de meteorización de la Dunita de Medellín.

Horizonte	Descripción
VI	De color pardo rojizo, de tamaño limo, con espesores entre 0,3 y 1,5 m
V	Color pardo a amarillo claro, tamaño de grano limo, espesores de hasta 2 m.
IV	La roca se encuentra altamente meteorizada, pero muestra estructura original de la roca, localmente se muestra como núcleos de roca fresca inmersos en matriz limosa, espesores de hasta 2 m
III	Diferenciables por grado de serpentinización y de fracturamiento. Roca de color negro a tonos verdosos, con espesores de 1.5 m

Fuente: Estudio de Microzonificación sísmica (AMVA, 2007).

3.1.2 Depósitos de vertiente (QvIII, QvIV)

El relieve sobreimpuesto a partir de los depósitos de vertiente es una característica que enmarca gran parte del área del municipio, abarcando todo el suelo urbano y de expansión. Ocupan la parte baja de las laderas del municipio principalmente en la vertiente más occidental del río Aburrá, se encuentran interdigitados con depósitos aluviotorrenciales provenientes de la quebrada La García y El Hato.

En los estudios realizados se distinguen los flujos de escombros y/o lodos de acuerdo con el evento de depositación, representándose al menos seis (6) series desde el más antiguo al más reciente (NFprel, NFI, NQFII, QFII, QFIII, QFIV y QFa) (AMVA, 2007). El estudio elaborado por Rendon *et, al* (2006), propone que estos depósitos presentan un arreglo escalonado, donde los más antiguos están localizados hacia la parte media y alta de la ladera; y los más jóvenes se localizan hacia la base de la vertiente. En este estudio se realiza un reajuste cartográfico de los depósitos donde se renombra la serie de depósitos descrita por el AMVA (2007) de acuerdo a su grado de incisión y se explica a continuación:

Los depósitos de vertiente III (Qv III) corresponden a los depósitos de flujos de lodos y/o escombros QFIII y QFIV (AMVA, 2007) y tiene un grado de incisión entre 2m y 10m.

Finalmente, los depósitos de vertiente IV (Qv IV) tiene un grado de incisión menor que 2 m e incluyen los flujos de lodos y/o escombros QFa y depósitos de deslizamiento Qd.

3.1.3 Depósitos aluviales (Qal)

El Valle de Aburrá se caracteriza por tener una extensa cobertura de depósitos aluviales asociadas al cauce del río Aburrá y a los principales afluentes que confluyen con el río. Presentan superficies de pendientes bajas a suavemente inclinadas en el caso de los depósitos aluviales, y pendientes medias a abruptas y de abanico con terrazas para el caso de los de origen aluviotorrencial. En el municipio de Bello este tipo de depósitos es característico de presentarse en la zona media y baja del valle asociado al río Aburrá y a las quebradas La García y El Hato.

Se encuentran en la parte baja del valle en la llanura de inundación del río, presentan un relieve con pendientes planas a suavemente inclinadas, la mayor parte han sido intervenidas y urbanizadas. La llanura aluvial alcanza su mayor extensión en la parte central del municipio donde el río Aburrá cambia su dirección, y se vuelve estrecho hacia el municipio de Copacabana. Estos depósitos están constituidos por diversos materiales, que incluyen arcillas, limos, arenas, gravas gruesas y fragmentos rocosos heterogéneos composicionalmente estratificados con continuidad horizontal variable. Los paquetes de gravas contienen fragmentos redondeados y subredondeados de cuarzo, diorita, gneis, anfibolita, esquisto, basaltos, dunitas, y cuarzodioritas, entre otros (AMVA, 2007).

3.1.4 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)

Corresponden a depósitos alargados de pendientes altas a medias ubicados en las cercanías de las quebradas La García y sus afluentes, la quebrada El Hato, La Loca, La Madera, entre otras. Particularmente la quebrada La García muestra en la parte baja del municipio un gran abanico aluviotorrencial que se extiende hasta el río Aburrá cortando gran parte de la zona urbana del municipio.

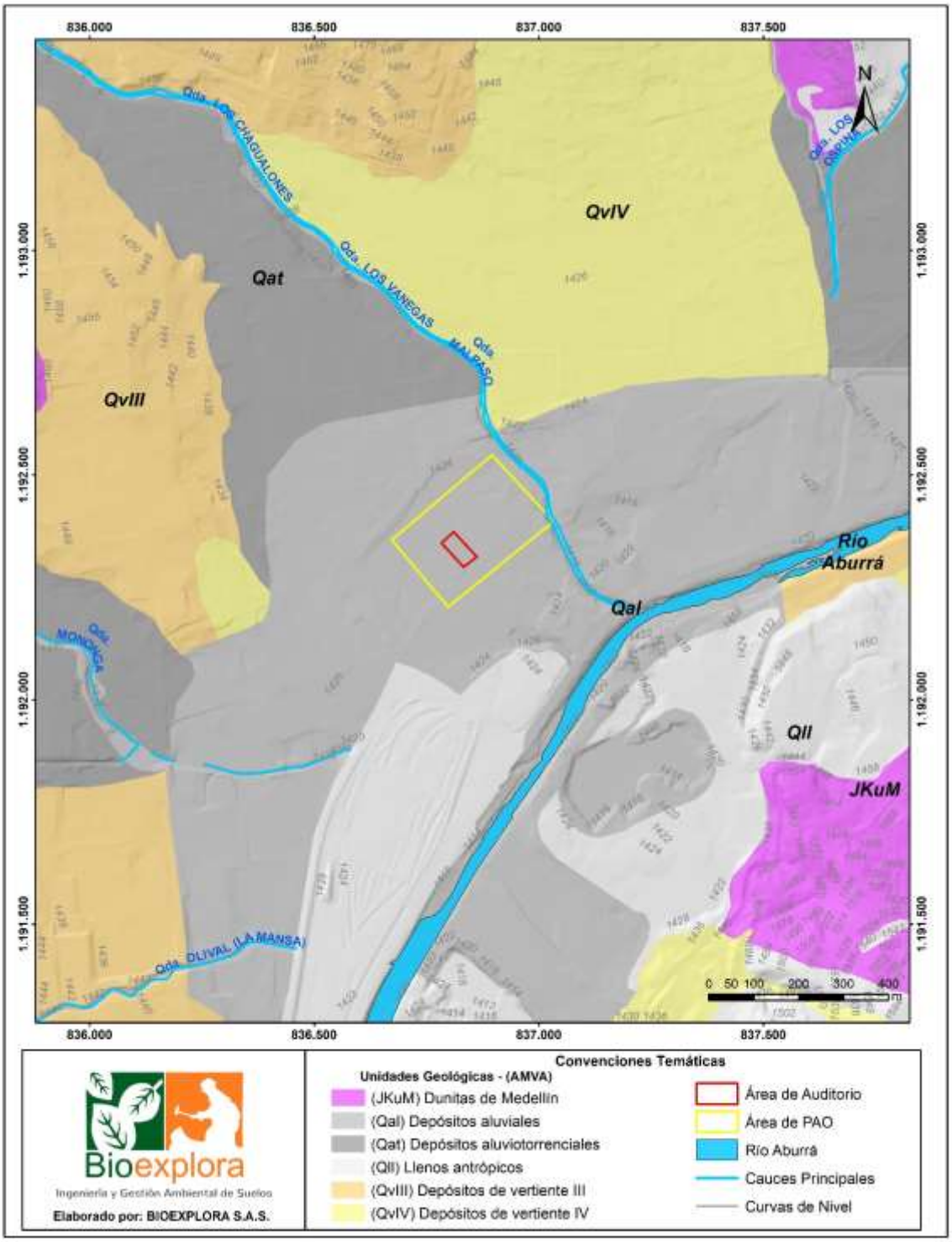
Estos depósitos se conforman por grandes bloques de roca de diversas composiciones, con poca matriz de granulometría arenosa, sin clasificación ni selección, con bloques redondeados a subredondeados de tamaños hasta 3 metros. Debido a su alta permeabilidad, exhiben un grado de meteorización moderado, actualmente son disectados por las corrientes actuales.

3.1.5 Llenos antrópicos (Qll)

Son el resultado del crecimiento urbanístico del municipio y de las actividades mineras asociadas a las litologías de las *Dunitas de Medellín* y el *Batolito de Ovejas*, la mayoría de estos llenos han llegado a tener extensiones y espesores que pueden ser cartografiados. En la zona de estudio se encuentran en diferentes zonas, de mayor importancia los encontrados en el sector cercano al río Aburrá, sector Conasfaltos. Aunque muchos de estos llenos se han desarrollado siguiendo normas técnicas, abundan en el municipio los botaderos informales.

Esta unidad se compone de materiales heterogéneos como bloques de cementos, madera, plásticos, materia orgánica, suelo de tamaños limo y arena y escombros, facilitando la adecuación del terreno para la implantación de infraestructura, vías, entre otros.

Figura 2. Mapa de Unidades Geológicas Regionales.



Fuente: Modificado del Mapa Geológico del Estudio de Microzonificación sísmica (AMVA, 2007).

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

El análisis y elaboración de la cartografía geológica para el área de estudio, se realizó teniendo como insumo base las unidades cronoestratigráficas expuestas en escala 1:10.000 del *Estudio de la microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado (AMVA, 2007)* realizando la respectiva adecuación a la escala de trabajo según la información de ensayos de penetración (SPT), perforaciones a rotación y controles litológicos de campo (*Figura 3).* En la (Figura 10) se encuentra la ubicación de los puntos para los ensayos de penetración (*SPT*) y perforaciones a rotación.

A continuación, se realiza la descripción detallada de la unidad correspondiente a la geología local, definida cronoestratigráficamente por: Depósitos aluviales - *Qal.*

3.2.1 Depósitos aluviales *(Qal):*

Esta unidad se encuentra conformada por el depósito de materiales provenientes del flujo, transporte y desarrollo de la *llanura de inundación* del rio Aburrá, evidenciando la naturaleza meándrica de este. Los depósitos aluviales presentan una gradación granodecreciente, con un material finogranular (limo arena a arena fina) hacia el tope y estratos de depósito conglomerático polimíctico matriz soportado hacia la base, presentando variación del espesor de estas capas a lo largo de la zona de estudio.

En el área de estudio estos depósitos se encuentran desarrollando superficies de pendientes bajas a planas, con un relieve de pendientes planas intervenidas antrópicamente para la adecuación de los antiguos edificios allí presentes (Antiguos talleres del ferrocarril de Antioquia). A continuación, se realiza la descripción detallada de la secuencia depositacional general de la zona de estudio y los materiales que la conforman:

Durante la revisión de los registros de ensayos de penetración y perforaciones, se observó un material de matriz limo-arenosa con presencia de gravas, cantos de roca transportados y escombros, correspondiente a un *Lleno antrópico*. Este material presenta plasticidad baja a nula, consistencia suave y humedad media (Fotografía 1). También se evidenció la presencia de una capa de concreto de aproximadamente 10 cm de espesor suprayaciendo este material.

Fotografía 1.Muestra de lleno antrópico, sondeo 2 - SPT.



Fuente: Ensayos de Penetración, Bioexplora S.A.S, (2021).

La Llanura de inundación - *depósito aluvial finogranular* se encuentra conformada entre los 1 a 2 m de profundidad por un material limo arenoso (arena fina a media) compuesto principalmente de matriz finogranular (limo) con coloración parda, plasticidad baja a media, humedad alta y de consistencia media (Fotografía 2).

Fotografía 2. Muestra de Depósito aluvial fino granular (limo – arenoso), sondeo 2 – SPT.



Fuente: Ensayos de Penetración, Bioexplora S.A.S, (2021).

Entre los 2 a 5 metros de profundidad de la llanura de inundación se evidencia un *depósito aluvial finogranular* conformado por material arcillo - arenoso (arena fina) compuesto principalmente de matriz finogranular (arcilla), color gris con pardo, plasticidad media a alta, humedad media y Consistencia media a rígida (*Fotografía 3*).

Fotografía 3. Muestra de Depósito aluvial fino granular (arcillo – arenoso), sondeo 1 – SPT.



Fuente: Ensayos de Penetración, Bioexplora S.A.S, (2021).

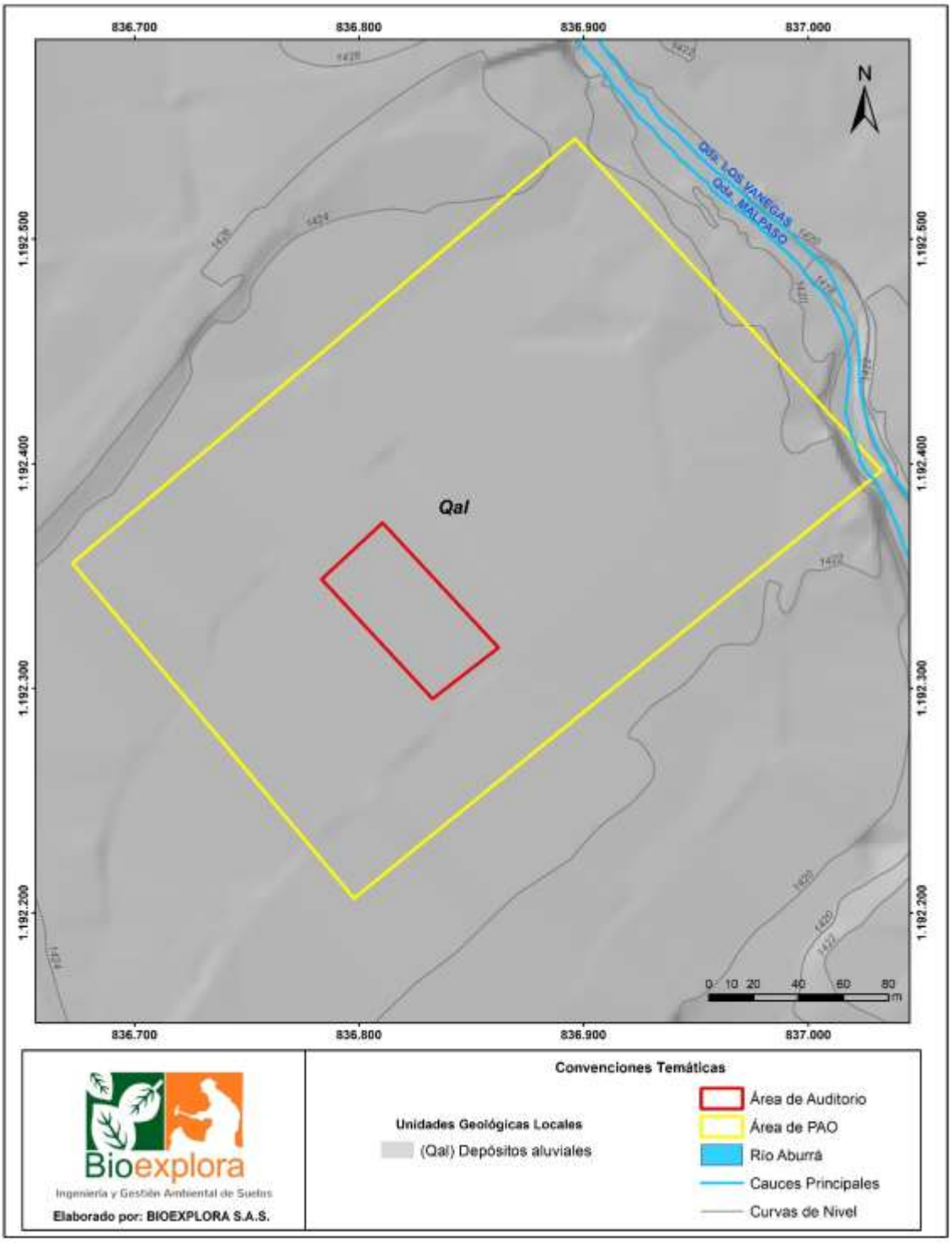
Entre los 5 a 7 metros de profundidad de la llanura de inundación se encuentra un *depósito aluvial de arena* conformado por material limo arenoso (arena fina a media), compuesto principalmente de matriz finogranular (limo - arena fina) con presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosilicatos (micas). Este depósito presenta una fracción matriz-fragmentos líticos de 80 / 30%, color gris verdoso y pardo, plasticidad baja a nula, humedad media a alta y consistencia moderadamente densa (Fotografía 4).

Fotografía 4. Muestra de Depósito aluvial de arena, sondeo 2 – SPT.



Fuente: Ensayos de Penetración, Bioexplora S.A.S, (2021).

Figura 3. Mapa de Unidades Geológicas Locales.



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A nivel regional el Valle de Aburrá se encuentra controlado por tendencias estructurales N-S a NWW, que influyen en la dirección de las rocas metamórficas, las foliaciones y la disposición de las rocas Ultramáficas (Consorcio Microzonificación, 2006).

3.3.1 Geología estructural regional

En las cercanías del área de estudio se identifica la influencia de la Falla Belmira - Oeste. A continuación, se realiza una descripción general de esta falla, su influencia en la dinámica regional y local en el área de estudio.

- ***Falla Belmira-Oeste***

  Según el Consorcio Microzonificación (2006), esta falla hace parte del *Sistema de Fallas Belmira*, que ha sido caracterizado como un sistema de fallas con una expresión topográfica prominente, distinguido por su tendencia en dirección N35°- 45°W y NS con desplazamiento lateral izquierdo. Se localiza aproximadamente a 5 km al occidente del municipio de Copacabana y a 20 km al norte de los municipios de Caldas, Sabaneta, La Estrella y Envigado.

  La Falla Belmira Oeste presenta una expresión geomorfológica fuerte caracterizada por valles alineados, silletas y depósitos Cuaternarios afectados por su dinámica estructural y tectonismo, sin embargo, dada su expresión geomorfológica más fuerte se estima un grado de actividad bajo. Finalmente, debido a su similitud con la zona de falla de Romeral, se ha estimado que la falla Belmira Oeste puede generar un sismo máximo de magnitud Mw 7,0 (Consorcio Microzonificación, 2006).

3.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

El municipio de Bello se encuentra localizado al noroccidente del Valle de Aburrá, y se caracteriza por contener una variedad de geoformas. En las áreas cercanas a la zona de estudio, hacia la parte baja del valle, las pendientes disminuyen y los filos se encuentran cubiertos por depósitos de vertiente, que en su parte inferior se ramifican y se convierten en colinas alineadas de topes suaves altamente incisados. Las colinas y los filos se interdigitan en su parte baja con los depósitos aluviotorrenciales provenientes de las quebradas La García y El Hato hasta llegar a la zona de la planicie aluvial del río Aburrá, caracterizada por sus pendientes suaves.

El área del municipio, cercana a la vertiente suroriental del río Aburrá, corresponde a una ladera irregular con relieve relativo menor a la vertiente occidental, y desarrollo de filos cortos y poco continuos, de tope suave y que terminan abruptamente en la planicie aluvial del río Aburrá (*Figura 4).*

A continuación, se hace una breve descripción de las unidades geomorfológicas cercanas al área de estudio, delimitadas en el *Estudio de la microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado (AMVA, 2007):*

- ***Ambiente Antropogénico:***
  - **(Aemb) Embalses:** se presenta acumulación de agua producida por una obstrucción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. La obstrucción del cauce en el municipio, se presenta de forma antrópica y corresponde al Embalse de La García en suelo rural.

  - **(Asp) Superficies de explanación**: planos hechos en laderas de sustrato rocoso y/o materiales no consolidados con el fin de adecuar el terreno parala construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno.
- ***Ambiente Denudacional:***
  - **(Dcsr) Colinas en suelo residual:** esta unidad se localiza generalmente cerca de los lomos o en la terminación de los mismos. Presentan formas redondeadas con topes planos a ligeramente convexos. Las pendientes son moderadas y tienen un moderado grado de incisión. Esta unidad corresponde a suelos residuales de anfibolita, metagabros, gneis, dunitas, rocas volcanosedimentarias, esquistos, rocas graníticas.

- **(Dssdmi) Suelos suaves en depósitos moderadamente incisados:** son geoformas continuas de inclinación suave sobre depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros y presentan un grado de incisión moderado. En el municipio, este tipo de suelos son los más abundantes y se encuentran en las partes medias del suelo urbano, tanto en la ladera oriental como en la ladera occidental.

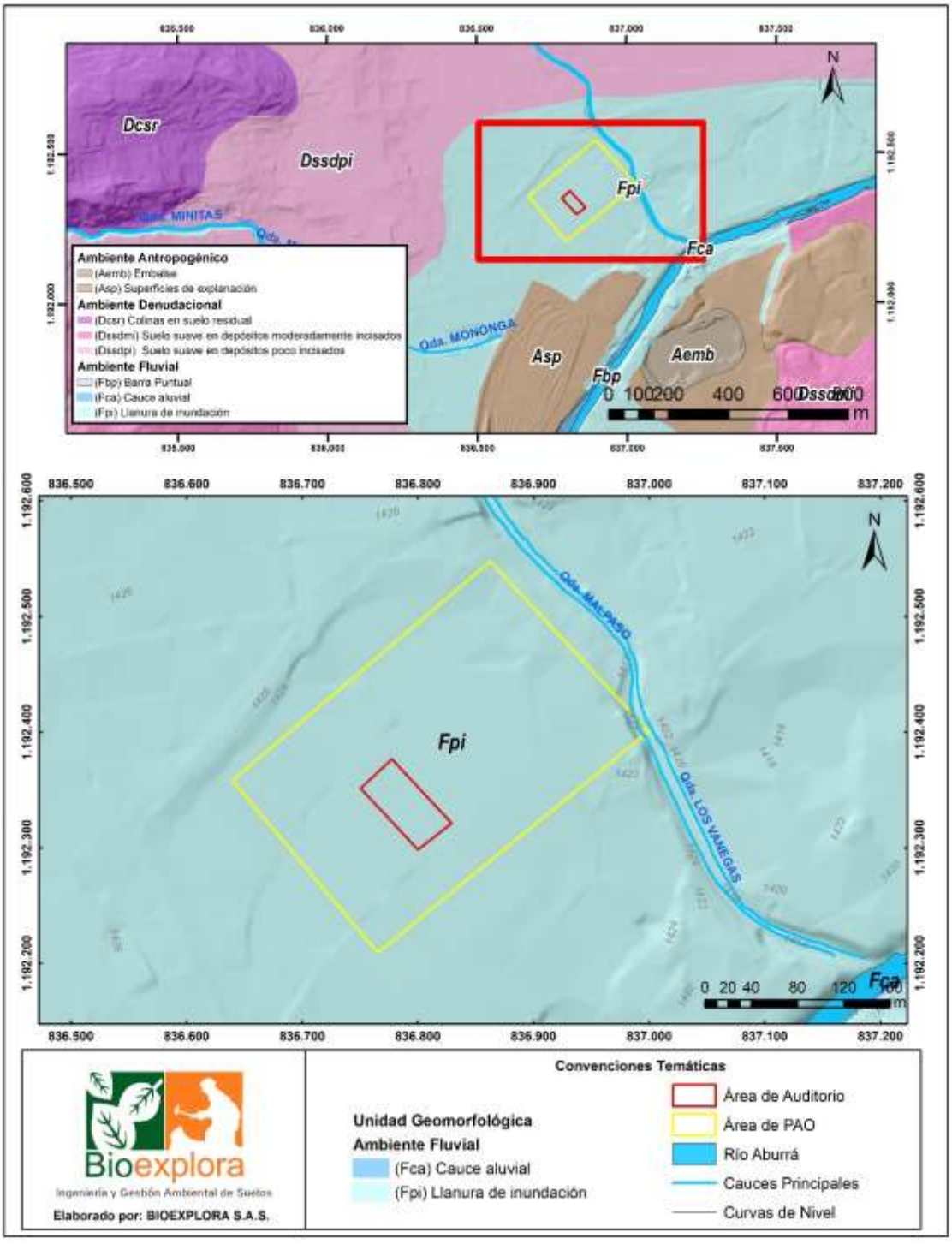
- **(Dssdpi) Suelos suaves en depósitos poco incisados**: son geoformas continuas de inclinación suave a moderada y modeladas sobre depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros. Presentan un grado de incisión baja a muy baja. Este tipo de suelos se encuentran en las partes más planas y bajas del suelo urbano del municipio de Bello, en los barrios más próximos al cauce del río Aburrá en la zona occidental y noroccidental.

- ***Ambiente Fluvial:***
  - **(Fbp) Barra puntual:** cuerpo en forma de medialuna de morfología suave ondulada y se localizan en los ríos, como producto de la acumulación de sedimentos erodados y transportados. Su depósito está constituido por sedimentos generalmente arenosos finos y materiales arcillosos. En el municipio de Bello, estas barras se presentan únicamente en el río Aburrá, como producto del transporte de sedimentos desde la zona sur del Valle de Aburrá.

  - **(Fca) Cauce aluvial**: canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Generalmente, estos forman valles estrechos en V.

  - **(Fpi) Llanura de inundación:** superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial. En el municipio de Bello, estas llanuras de inundación se presentan para todas las quebradas, principalmente en el suelo urbano.

Figura 4. Mapa de Unidades Geomorfológicas Regional.



Fuente: Modificado del Mapa Geomorfológico del Estudio de Microzonificación sísmica (AMVA, 2007).

3.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La topografía suavizada y relativamente homogénea de la zona de estudio, junto con la escala de trabajo, determinaron las delimitaciones de los ambientes geomorfológicos de la zona y las subunidades geomorfológicas asociadas a estos, estableciendo la localización y descripción de las geoformas y sus implicaciones en la evolución geomorfológica del área.

3.5.1 Análisis morfométrico

Las características físicas del terreno (*morfometría*) permiten la identificación de los agentes morfogenéticos que tienen mayor relevancia para la generación de procesos morfodinámicos, su influencia en la distribución espacial de estos y su intensidad. Por medio de la morfometría se logra la caracterización del terreno a partir de diferentes aspectos que se presentan en los modelos de elevación, identificando, por ejemplo: grado de inclinación (pendiente), distribución de la elevación del terreno, entre otros.

Para el análisis de los parámetros morfométricos del área de estudio se implementó el modelo de elevación (*MED*) realizado y adecuado a partir de información secundaria.

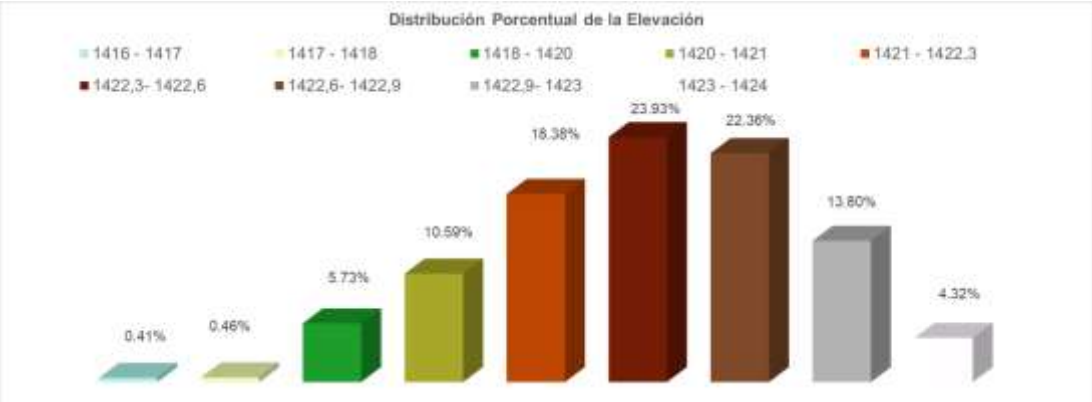
3.5.1.1 Elevación:

La distribución de las elevaciones en la topografía del área de estudio se encuentra en la (

Figura 5) en la cual se evidencian alturas que varían desde los 1416 msnm hasta los 1424 msnm, con máxima concentración de valores entre las elevaciones 1422,3 a 1422,6 msnm con un 23,93% de los datos.

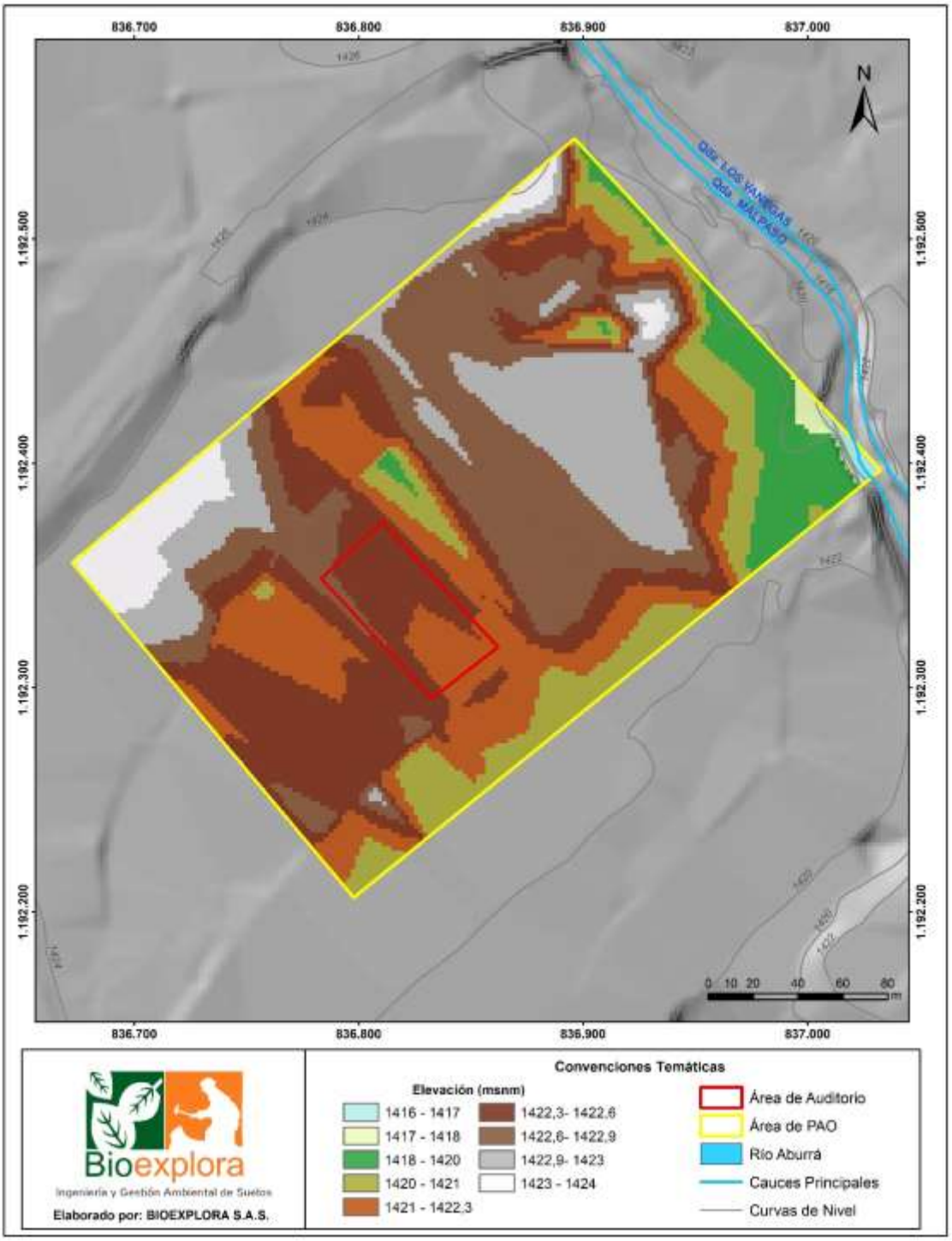
La distribución altitudinal presenta un comportamiento unimodal con aumento de las áreas en las elevaciones desde 1421 msnm hasta 1422,9 msnm. Además de una disminución entre los rangos 1416 -1417 msnm a 1420 - 1421 msnm y desde los rangos 1422,9 – 1423 msnm a 1423- 1424 msnm. (*Figura* 6).

Figura 5. Histograma de Elevación.



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Figura 6. Mapa de Elevaciones.



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

3.5.1.2 Pendiente:

Este componente del terreno proviene del procesamiento en sistemas de información geográfica (*SIG*) del Modelo de Elevación Digital (*MED*). Es el ángulo entre la superficie del terreno y la horizontal, su valor puede ser expresado en grados (°) de 0° a 90° o en porcentaje.

Esta variable se caracteriza por favorecer la erosión que ocurre cuando las fuerzas de arrastre y transporte de material son superiores a las de resistencia a la remoción (Appleby et al., 1996). Por esto, la pendiente se considera como uno de los agentes morfogenéticos más importante que aumenta la susceptibilidad a desplazamiento del terreno en el área de estudio.

La pendiente del terreno se clasificó según los parámetros definidos en el *Acuerdo Metropolitano 009 (2012),* en los siguientes rangos (*Tabla 3*).

Tabla 3. Rangos de pendiente para clasificación geomorfológica.

Clasificación	**Rango (°)**
Planicies	< 5
Vertientes Suaves	5 -15
Vertientes Moderada	15 – 30
Vertientes Empinadas	30 – 45
Escarpe	45 <

Fuente: Modificado del Acuerdo Metropolitano 009, (2012).

Para el área de estudio se evidencia la dominancia de los datos pertenecientes a pendientes *Planas o Planicies* que equivalen a un rango de datos entre 0° y 5°, seguidos por los datos pertenecientes a pendientes *Vertientes Suaves* con valores superiores a 5° a 15° (*Figura 7*). En el área se identifican los menores porcentajes (0,13% y 0,10%) en las áreas en pendientes *Vertiente Empinada y Escarpe*, respectivamente, para rangos entre 30° - 45° y > 45°.

Figura 7. Histograma de Pendientes.

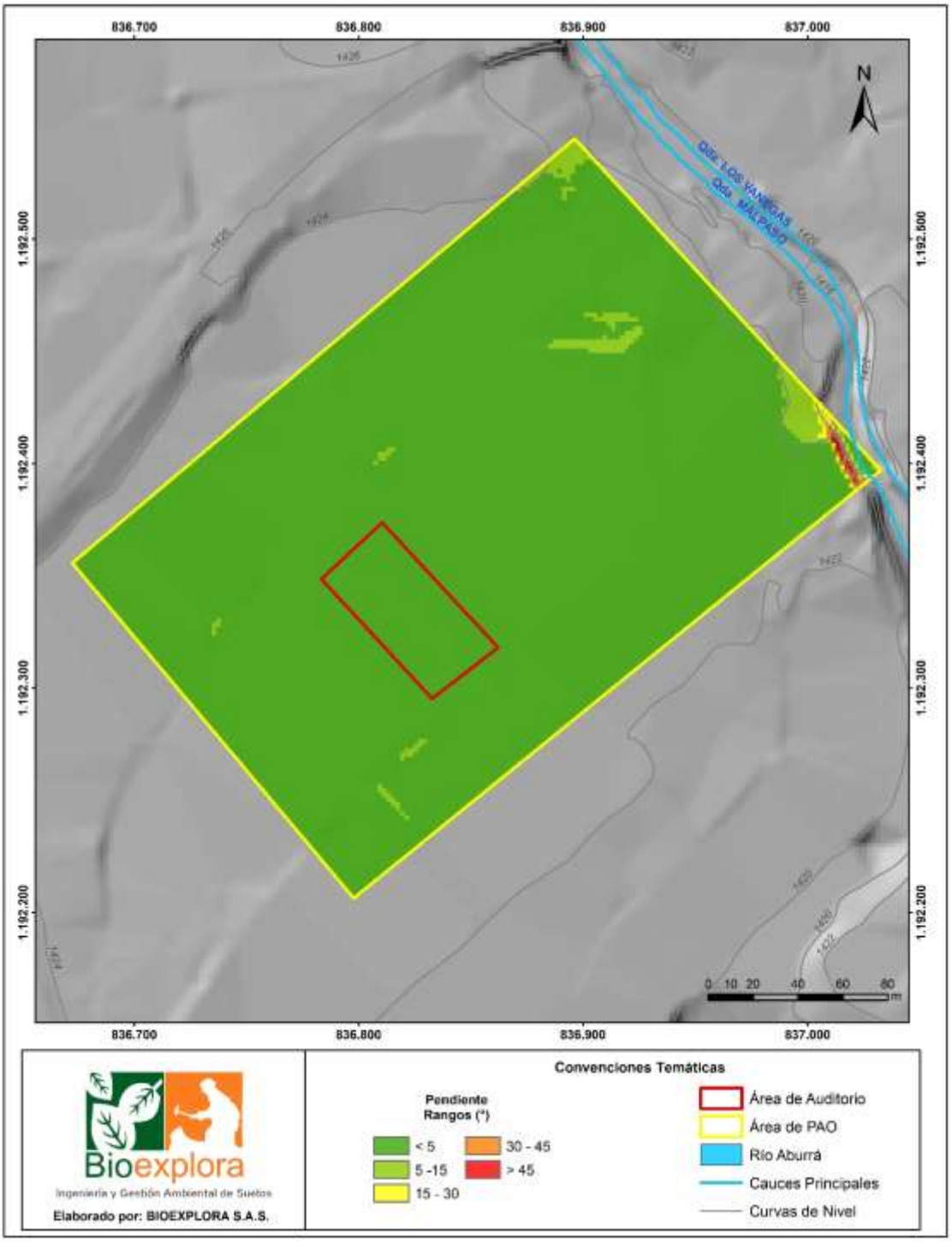


Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

La zona con mayor pendiente se encuentra en la ladera próxima a la quebrada Malpaso, en la zona NE y SE del área de estudio, en esta área se observan datos correspondientes a *Vertientes Empinadas y Escarpadas* con valores entre 30° y 45°.

También se evidencia que la mayor parte del área de pendiente *Plana* en la zona de estudio, se encuentra sobre la adecuación antrópica de los antiguos edificios allí presentes (*Figura 8*).

Figura 8. Mapa de Pendientes.



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

3.5.2 Subunidades geomorfológicas

La delimitación de las geoformas y los ambientes del área de estudio se basó en los conceptos y descripciones del *Estudio de la microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado (AMVA, 2007),* adaptado a la escala propuesta para el trabajo (ESC: 1:2.000).

Las Subunidades geomorfológicas fueron delimitadas usando las características físicas apreciables del terreno, según su; forma, pendiente, grado de disección y morfometría.

3.5.2.1 *GEOFORMAS DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO*

Estas geoformas se originan por la intervención del hombre en el terreno; asentamientos urbanos, expansión urbanística o industrial, explotación de materiales, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros, vías o carreteras, entre otros en los que se modifica la morfología natural del terreno (AMVA, 2007).

- ***Superficie de explanación (Asp):***

La unidad se encuentra en la zona central del área de estudio abarcando cerca de la totalidad de esta, se caracterizan por ser planos de origen antrópico conformadas mediante la adecuación de planicies de morfología suavizada, con pendiente plana para obras de construcción o asentamientos humanos. En el área de estudio se delimita una unidad de morfología rectangular de longitud mayor a 240 metros, evidenciando la antigua infraestructura y disposición de los edificios que conformaban la sede de los antiguos talleres del ferrocarril de Antioquia.

3.5.2.2 *GEOFORMAS DE ORIGEN FLUVIAL O LACUSTRE*

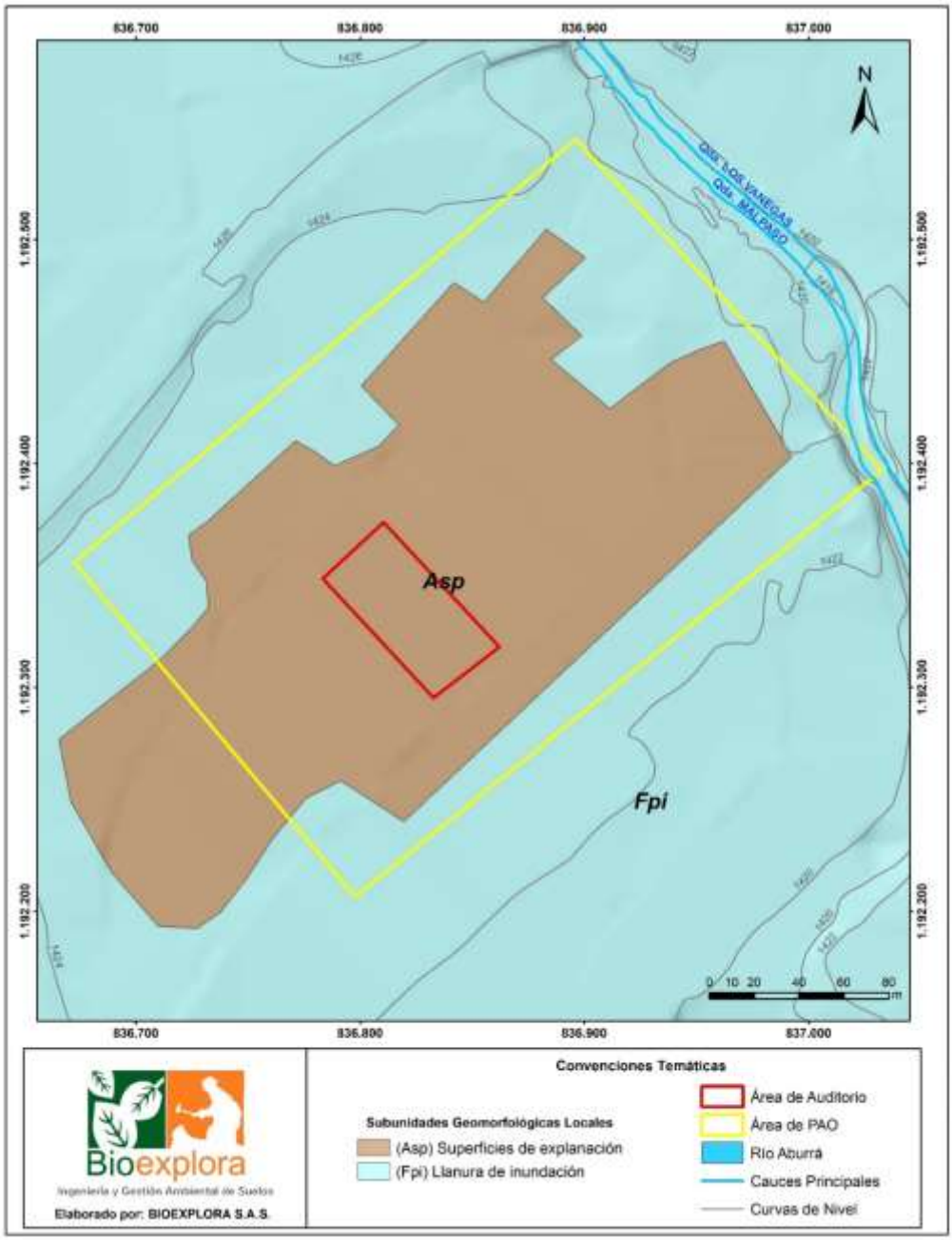
Estas geoformas se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos, acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas, tanto en episodios de grandes avenidas torrenciales e inundaciones, como en durante la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. Se encuentran aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre. (AMVA, 2007).

- ***Llanura de inundación (Fpi):***

La unidad se encuentra como basamento de la superficie de explanación y en los alrededores de esta, se conforma por una superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. En la zona de estudio se localiza bordeando el cauce del río Aburrá, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Su

depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial; junto con eventuales sedimentos de granulometría media a gruesa, asociados a los depósitos de conos de deyección, migración del cauce principal, dique y barras.

Figura 9. Mapa de subunidades geomorfológicas.



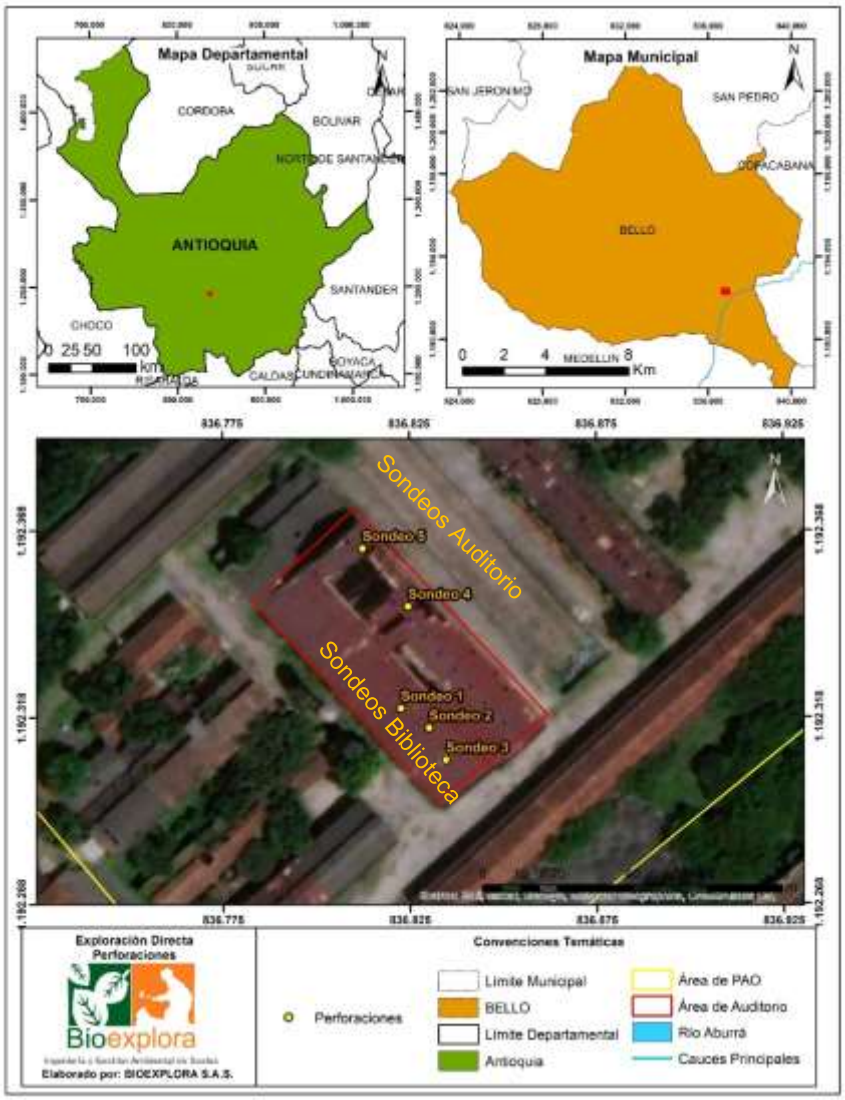
Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

4.1 EXPLORACIÓN DIRECTA

Se ejecutaron dos (2) sondeos exploratorios directos, todos a roto-percusión con recuperación de muestras, donde se realizó el ensayo de campo de penetración estándar SPT, con el objetivo de identificar y caracterizar los diferentes materiales presentes en el perfil estratigráfico del sitio de estudio. Los sondeos se ubicaron cubriendo el área de estudio y en complemento con la exploración existente. En la Figura 10 se presentan la ubicación de cada una de las exploraciones.

Figura 10 Ubicación de los sondeos



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Tabla 4 Registro fotográfico de la exploración directa realizada en la zona de estudio






Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Para las perforaciones se utilizaron trípodes metálicos con pesa de impacto y sistema de izaje basado en motores estándar de 10HP de potencia como se muestra en las anteriores imágenes. Todo esto acorde con ASTM D1586 Standard

Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils

Tabla 5 Profundidad y medida del nivel freático de los sondeos directos realizados como complemento a la exploración existente.

Sondeo	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Sondeo 4	7.70	2.50	6°20'0.60"N	75°33'7.56"O
Sondeo 5	7.25	2.50	6°20'1.03"N	75°33'8.00"O

Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Los registros de perforación de los sondeos se presentan en el Anexo 1.

De acuerdo con los datos suministrados por el contratante y AMVA, la estructura del auditorio a construir corresponde a una estructura de un solo nivel de altura variable, cuya carga de servicio (viva + muerta) máxima es de 830 kN, sin embargo, después de esta carga máxima se tiene que la segunda carga de servicio máxima es de 570 kN y seguida de cargas menores. De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que la estructura corresponde a categoría baja, con base en la clasificación dada en la norma sismo resistente NSR-10 (Tabla H.3.1-1), ya que se considera que la existencia de una carga mayor al límite de 800 kN no implica un aumento en la categoría de la unidad de construcción, manteniéndose como baja. Por esto mismo se concluye que la exploración, tanto directa como indirecta realizada cumple con los estipulado por la NSR-10.

4.2 EXPLORACIÓN INDIRECTA

Para realizar la *exploración indirecta del subsuelo* se emplea el método de *Refracción Sísmica,* por medio del cual se busca identificar el "*primer arribo*" o llegada de las ***Ondas P****,* obteniendo una sección de *velocidad de onda P* en función de la *profundidad* para finalmente determinar la estratigrafía local del subsuelo.

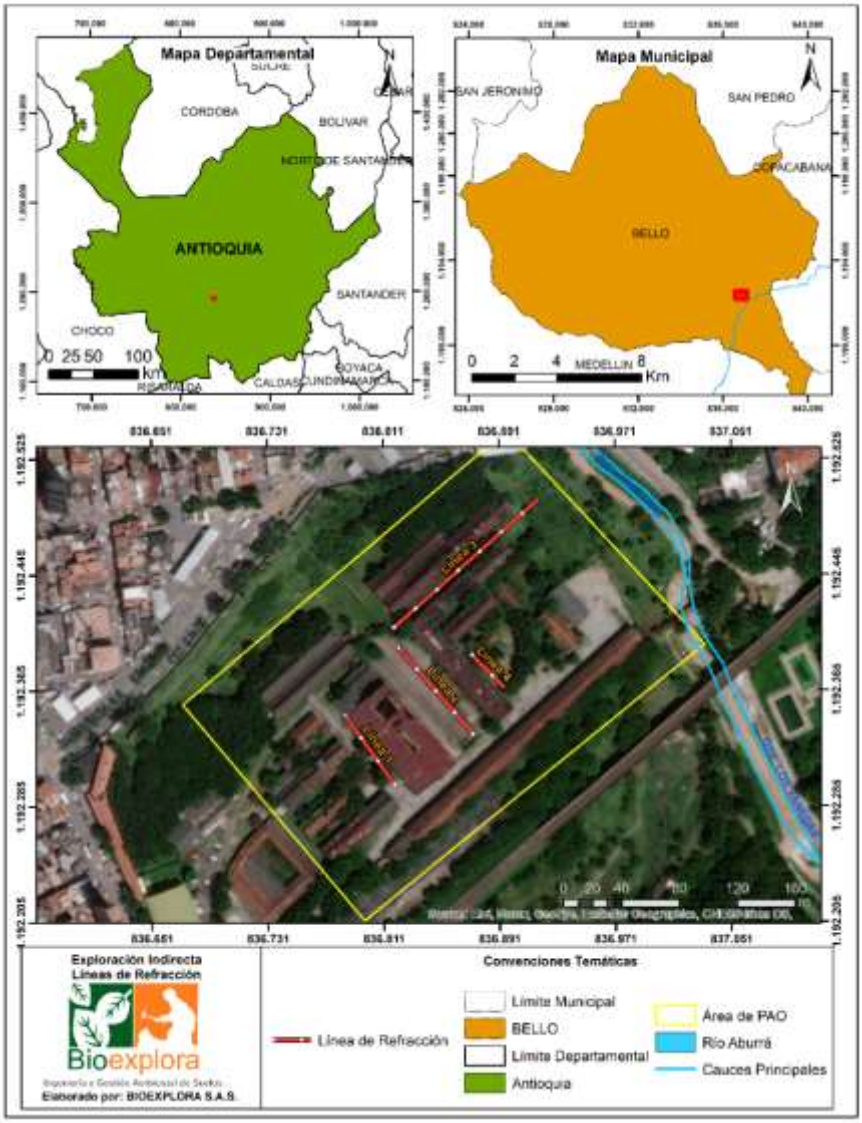
4.2.1 Generalidades

La realización de la exploración indirecta para la proyección de la infraestructura del *Parque de Artes y Oficios (PAO),* ubicado sobre los Antiguos Talleres del Ferrocarril de Antioquia en el municipio de Bello -Antioquia, sobre la antigua llanura de inundación del *Rio Medellín*, el cual tiene como desarrollo la exploración indirecta del subsuelo por medio del método geofísico de *Refracción sísmica* como complemento a las labores de exploración directa realizadas al interior del área de estudio.

Adicionalmente, se compone de un análisis geológico local con el fin de correlacionar el presente método de exploración indirecta con la exploración directa (perforación a percusión y rotación), de esta forma elaborar conclusiones y recomendaciones específicas para la actividad de interés.

El desarrollo de la exploración indirecta se llevó a cabo por medio de dos (2) líneas de refracción sísmica distribuidas de la siguiente manera; *Línea 1*, al occidente de la proyección de la unidad estructural 5 – Biblioteca; *Línea 2*, al oriente de la proyección de la unidad estructural 6 – Auditorio, acorde a la disponibilidad de áreas donde se permite realizar la adquisición de datos, las cuales se presenta a continuación en la Figura 11.

Figura 11 Mapa de exploración Indirecta.



Fuente: Bioexplora S.A.S

Tabla 6 Coordenadas de ubicación de la línea de Refracción sísmica.

	INICIO		FINAL		
Línea de Refracción	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada X	Coordenada Y	Longitud
Línea 1	836784,07	1192348,97	836819,24	1192299,42	52 m
Línea 2	836873,90	1192334,00	836820,84	1192395,55	77 m

Fuente: Bioexplora S.A.S.

4.2.2 Metodología

El desarrollo de la exploración indirecta se define de acuerdo a la metodología de adquisición y procesamiento de datos empleados por el método de Refracción sísmica, la cual se describe a continuación.

4.2.2.1 Recopilación Preliminar de Información

Antes de ir a campo, se procede a conocer datos generales y específicos importantes como; el objetivo de la geofísica, profundidad deseada de la información del subsuelo a explorar, nivel de detalle requerido, condiciones topográficas, cobertura vegetal, logística y condición de seguridad, entre otras.

Posteriormente se efectúa un análisis general de la zona de estudio mediante el empleo de imágenes satelitales y modelos digitales del terreno, disponibles a través de la herramienta *Google Earth* (2021), *ArcGIS 10.6* y planchas geológicas. La información anterior se recopila con el objetivo de hacer un primer acercamiento al conocimiento de la zona y efectuar un prediseño de las líneas sísmicas a ejecutar.

4.2.2.2 Trabajo de Campo

Una vez en campo se valida o modifica el prediseño de las líneas de adquisición realizado en oficina con información preliminar, se procede a la apertura de trochas y estacado (si es requerido). Posteriormente, se realiza el tendido del cable con los correspondientes receptores o geófonos implementados para el método de adquisición, a través del cual se desarrolla la toma de las mediciones de los datos geofísicos (en este caso de la velocidad de la Onda P).

4.2.2.3 Refracción sísmica

El principio de la prospección sísmica consiste básicamente en generar ondas acústicas (ondas P) mediante golpes reiterativos de una comba (martillo) sobre una placa metálica (fuente), esta acción genera *frentes de onda* que viajan a

diferentes velocidades en el medio geológico, condicionadas a las características de la masa y/o medio por el cual se transportan desde la fuente de energía (el punto donde se aplica el golpe la cual constituye la fuente) hasta los sensores (geófonos). En esas interfaces de las capas, ocurre un proceso de partición de la energía, por lo cual una porción de la energía continúa su propagación hacia el interior de la tierra, mientras que la otra porción regresa a la superficie, donde es registrada por dispositivos detectores (geófonos con una frecuencia de 10 Hertz).

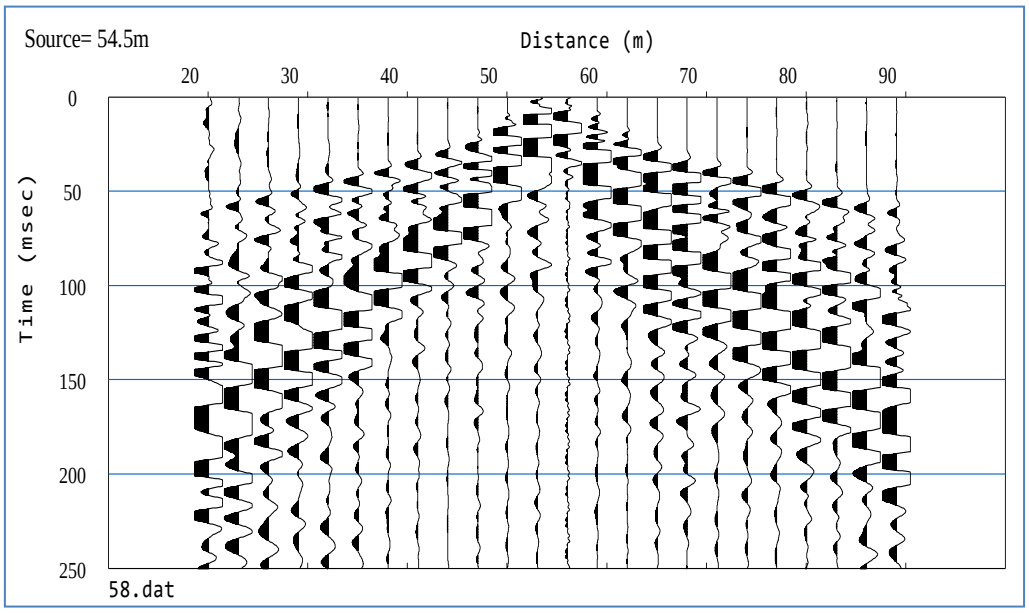
Este principio se basa en que; *a mayor profundidad la velocidad de transmisión en el medio aumenta, debido a la compactación del suelo y su composición*. Las ondas generadas por los impactos o golpes son recibidas por los geófonos después de un tiempo “t”, dependiendo también de la distancia “d”, fuerza del golpe, elasticidad y densidad del medio por el cual transitan.

Los *arribos* de las ondas producen vibraciones que son registradas en cada uno de los geófonos, estas son amplificadas por el sismógrafo y son visualizadas en la pantalla de una computadora. La Figura 12 evidencia un sismograma o vibración del terreno debido a la generación de ondas, mediante impactos recibidos en cada geófono.

Todas las formas de análisis manejan criterios que utilizan la suposición de los principios de reflexión y refracción de la *Ley de Snell* para las ondas “P”. Para los espesores y las velocidades de propagación de ondas “P” obtenidas, se puede realizar una correlación con las características geotécnicas como la consistencia y la densidad, esto puede llevar a estimaciones no exactas ante la presencia del nivel freático, el cual puede ser investigado específicamente con la refracción.

Las ondas generadas son las ondas de tipo “P” (primarias; compresión) y “S” (secundarias; transversales) las más usadas en los estudios de ingeniería geotécnica. Las velocidades de ondas “Vp” y “Vs” se producen mediante explosivos, martillo semi-hidráulico, peso en caída libre, o de manera más común con un martillo y/o comba.

Figura 12. Figura demostrativa de un Sismograma en un tendido sísmico de 24 canales, el disparo se ha efectuado entre los geófonos 12 y 13.



Fuente: www.guidelinegeo.com

4.2.2.4 Equipo utilizado

En la obtención de los sismogramas se ha empleado un sismógrafo de última generación modelo *Terralock Pro*, fabricado por la Empresa *ABEM* (Suecia), el cual cuenta con 24 canales de registro de ondas de llegada y 24 bits de resolución. Así mismo, complementan el sistema 25 geófonos de 10 Hertz (24 empleados en el ensayo de ***refracción sísmica*** y uno empleado como *Trigger*), los cables sísmicos y los cables de sincronización con la generación de la onda.

En la Figura 13 se aprecian las características del equipo de última generación, utilizado en la obtención de los registros sísmicos, en plena adquisición de datos, efectuando el ensayo de *refracción sísmica.*

Figura 13. Sismógrafo Terralock Pro de 24 Canales.



Fuente: www.guidelinegeo.com

4.2.2.5 Metodología de adquisición

En el área de estudio se realizó una línea de refracción sísmica, la cual permitió caracterizar las condiciones del subsuelo. A continuación, se describen las características de esta.

Las geometrías empleadas para las líneas de refracción sísmica (*LRS*) se dispusieron con unos arreglos de geófonos de la siguiente manera:

- Línea 1: Geófonos cada 2 metros, con una longitud total de 52 metros.
- Línea 2: Geófonos cada 3 metros, con una longitud total de 77 metros.

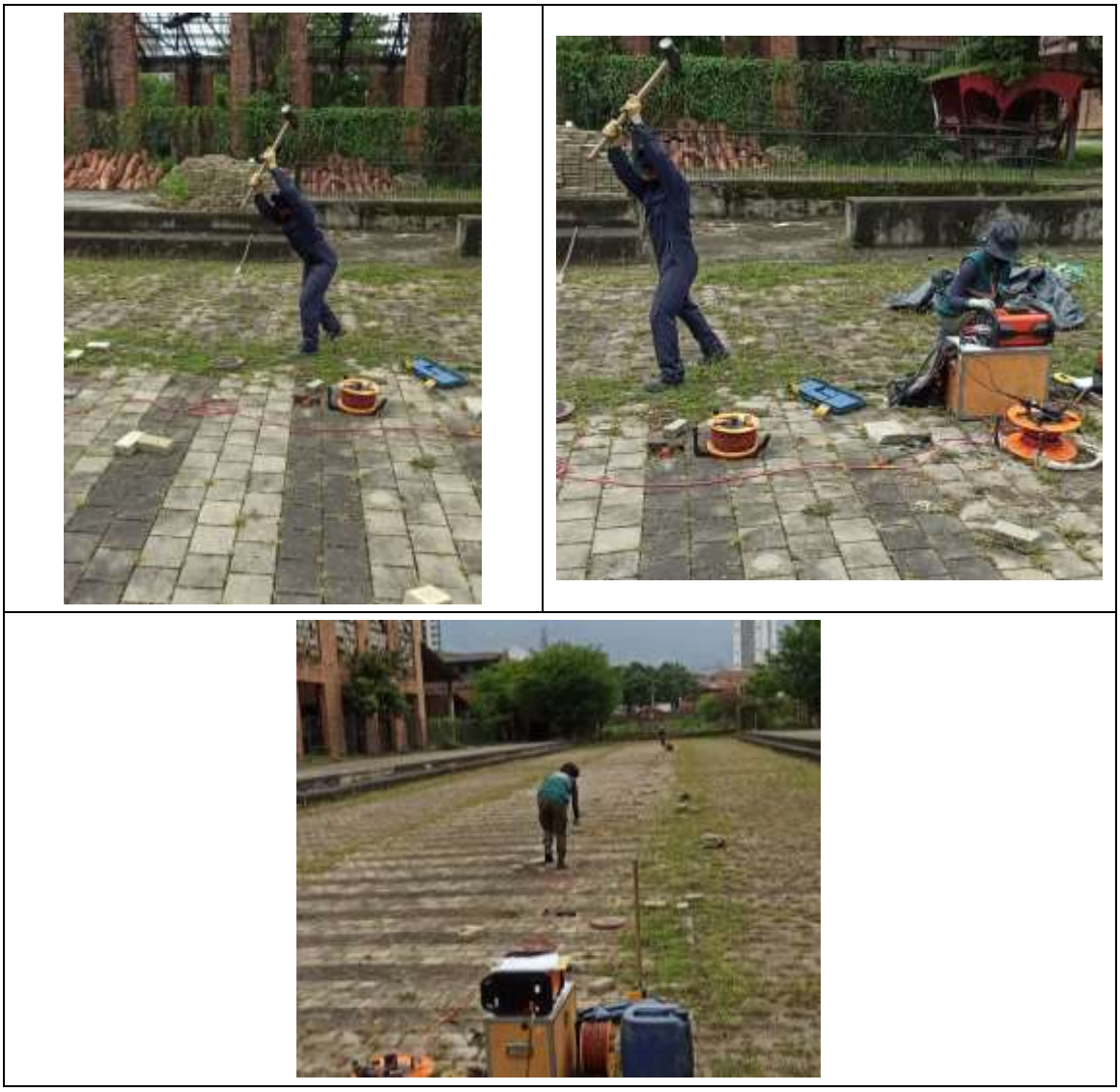
Las líneas se extendieron mediante el uso de cinta métrica.

Se realizó la adquisición de datos de sísmica de refracción con el fin de obtener una sección sísmica o imagen del subsuelo, implementando un arreglo de siete registros con una ventana de adquisición de 0.4 seg, muestreo de 65 µseg y cuatro stacks (suma de registros) usando como fuente sísmica un golpe de martillo de acero de 10 lbs en una placa metálica, estos fueron realizados en siete sitios de cada línea, disparos (D) de la siguiente forma:

- ✓ *Línea 1:* -6, 1, 11, 23, 33, 45 y 52 metros.
- ✓ *Línea 2:* -8, 1.5, 16.5, 34.5, 49.5, 67.5 y 77 metros.

Fotografía 5 Registros fotográficos de las líneas sísmicas realizadas.

Línea de Refracción Sísmica - 01	
	
	
Línea de Refracción Sísmica - 02	



Fuente: Bioexplora S.A.S.

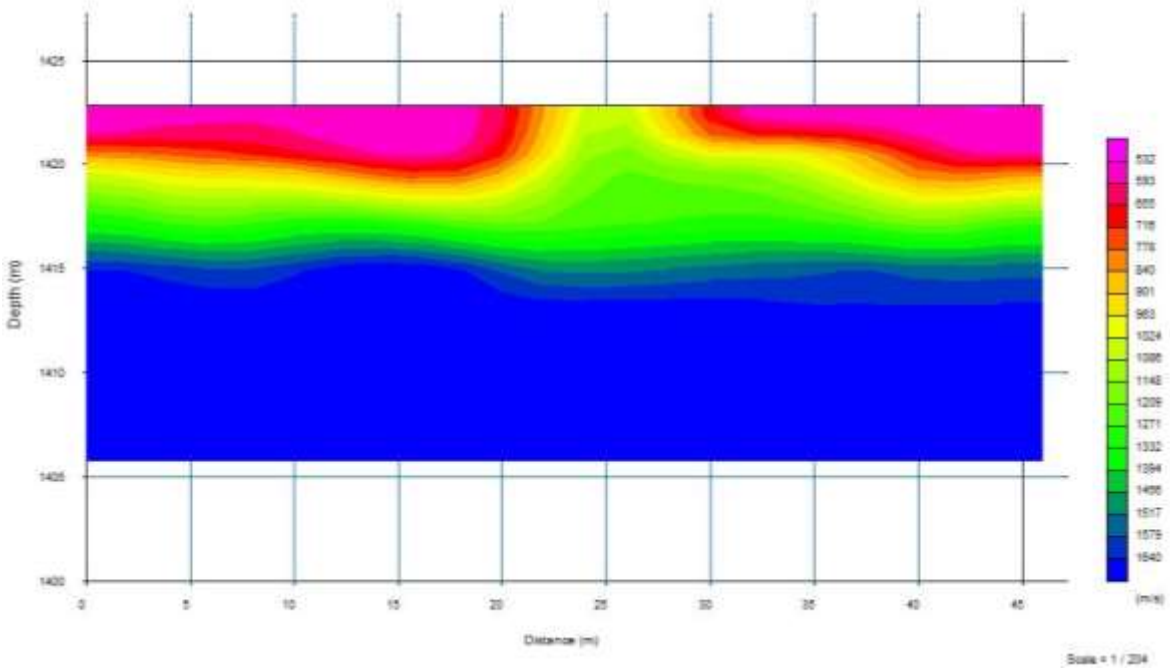
4.2.3 Procesamiento de datos

Para realizar la interpretación de los perfiles sísmicos se usó como ayuda el grupo de programas de Refracción Sísmica *SeisImager*®, de la empresa *Geometrics*. Este software permite realizar las lecturas de los sismogramas para luego realizar el procesamiento de la información, produciendo un modelo de profundidad desde el archivo de datos de entrada preparado por el programa anteriormente descrito; así mismo el programa calcula las velocidades de los estratos mediante técnicas de mínimos cuadrados, luego usa el método de tiempo de retardo para estimar las profundidades.

Finalmente, el programa ajusta las profundidades de cada estrato por efecto de la superficie topográfica, este proceso se hace en forma iterativa hasta encontrar el modelo que se ajuste a las características geológicas del terreno investigado.

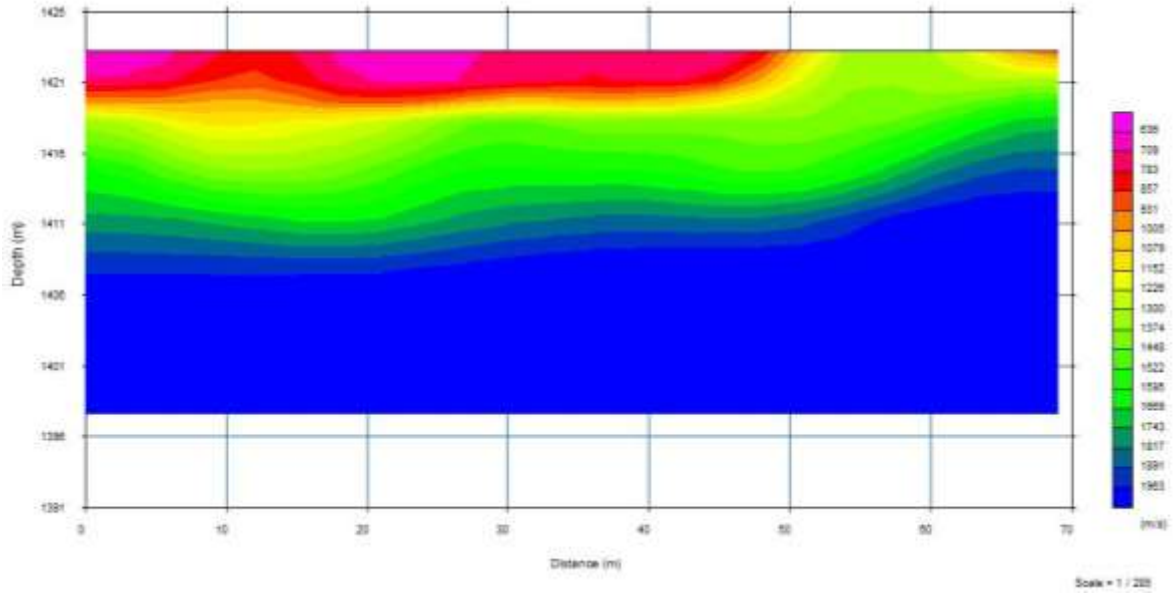
A continuación, se muestran los datos obtenidos en campo:

Figura 14 Línea de refracción sísmica - 01.



Fuente: Bioexplora S.A.S

Figura 15 Línea de refracción sísmica - 02.



Fuente: Bioexplora S.A.S

A continuación, se describen las líneas de refracción sísmica interpretadas, presentando concordancia entre la distribución de la litología del subsuelo y la localización sobre el área de estudio. La distribución de estas capas radica en los arreglos geométricos empleados en la adquisición de los datos sísmicos, así:

- En la ***línea 1***, con la separación de 2 metros, se logró obtener información hasta los 17 metros de profundidad aproximadamente.
- En la ***línea 2***, con la separación de 3 metros, se logró obtener información hasta los 25 metros de profundidad aproximadamente.

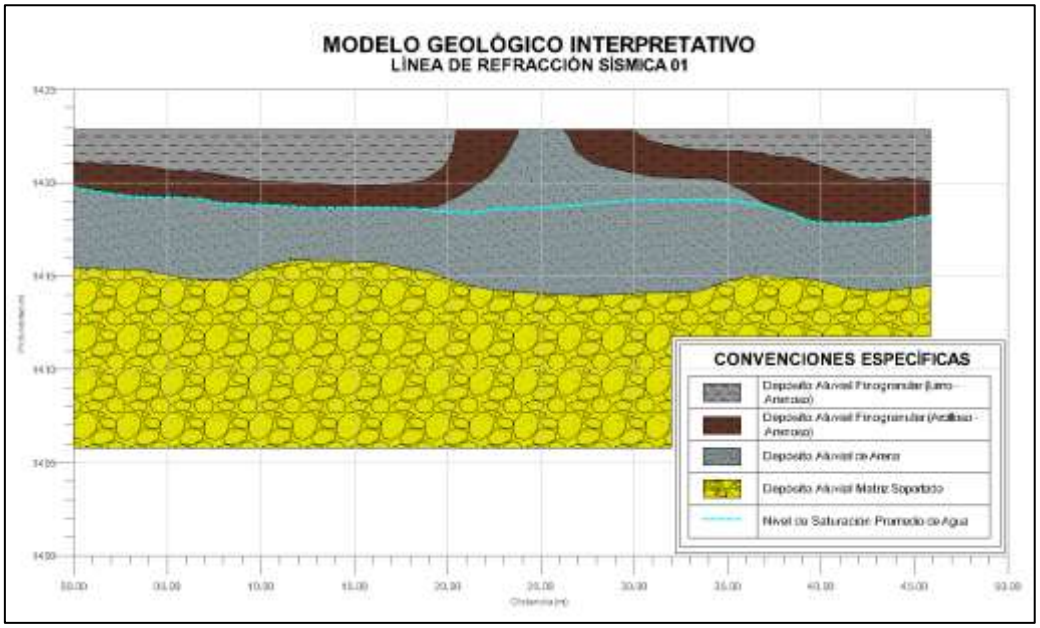
Las ***líneas de refracción*** realizadas se encuentran ubicadas sobre una topografía plana de intervención antrópica, en orientaciones paralelas longitudinalmente (Línea 1, 2 y 4) y transversalmente (Línea 3) a las proyecciones de las unidades estructurales descritas anteriormente. Estas líneas presentan una estratigrafía y distribución de capas muy similar y correlacionable, por esta razón se realiza una descripción general de la interpretación de los estratos según lo identificado durante la exploración directa (perforaciones); así se evidencia en los primeros 2 - 3 metros de profundidad una capa de material limo arenoso (arena fina a media) de depósito aluvial finogranular, correspondiente a la antigua *Llanura de inundación* del río Medellín, este material se encuentra compuesto principalmente de matriz finogranular (limo), con una consistencia media. Infrayaciendo esta capa, entre los 2 a 4 metros de profundidad, se encuentra un material arcillo -

arenoso (arena fina) de consistencia media, compuesto principalmente de matriz finogranular (arcilla), correspondiendo a una capa de la antigua *Llanura de inundación* conformándose por un depósito aluvial finogranular (arcillo – arenoso).

Aproximadamente entre los 4 a 9 metros de profundidad, se encuentra un material arenoso (arena fina a media), compuesto principalmente de matriz finogranular (arena fina), material de consistencia moderadamente densa, correspondiente a un *Depósito aluvial de arena*, presentando valores de velocidad entre los 1024 m/s y 1456 m/s. Finalmente, se evidencia un paquete de velocidades con valores superiores a los 1456 m/s, que se encuentran por debajo de los 1415 m.s.n.m (desde los 7 - 9 metros de profundidad), según lo evidenciado durante el desarrollo de la exploración directa (perforaciones) estos valores corresponden a un material con características de *Depósito aluvial matriz soportado,* con una posible matriz de arena media a gruesa, junto con una fracción Matriz - Clasto aproximada de 80/20%.

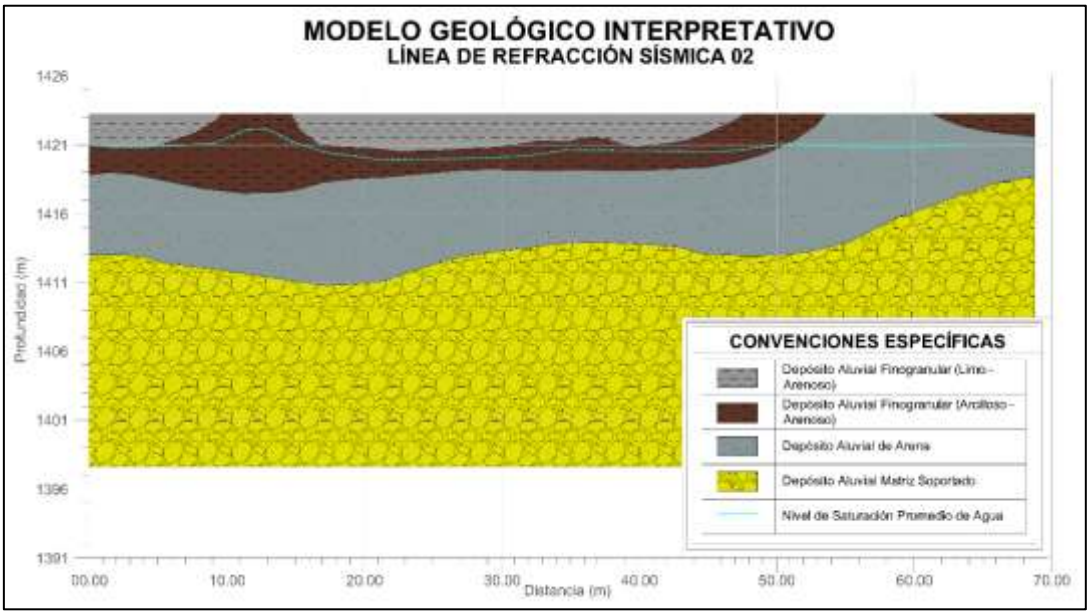
Además, se evidencia que a la altura de los 1420 m.s.n.m a 1421 m.s.n.m en las cuatro líneas sísmicas realizadas se encuentra el *nivel de saturación promedio del agua* en el área de estudio, ocasionando un cambio en el comportamiento y velocidad de tránsito de las ondas estudiadas mediante este método, exponiendo una interrupción en la distribución de las capas del subsuelo dentro del modelo, que logra identificarse de manera clara en las distintas líneas realizadas, las cuales se arreglaron sobre la implantación.

Figura 16 Interpretación línea sísmica - 01.



Fuente: Bioexplora S.A.S.

Figura 17 Interpretación línea sísmica - 02.



Fuente: Bioexplora S.A.S.

4.3 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

El perfil estratigráfico de la zona de estudio se determinó con base en la exploración directa realizada en la zona de estudio y las perforaciones existentes. Se encontró un perfil de suelo conformado por el depósito de materiales provenientes del flujo, transporte y desarrollo de la llanura de inundación del rio Aburrá. Se presentan una serie de estratos de depósitos aluviales, los cuáles son diferenciados con base en su clasificación preliminar visual, y principalmente con base en los resultados provenientes de los ensayos de penetración estándar, cuyos resultados presentan similitud y correlación entre sí.

Figura 18 Disposición de las unidades estratigráficas en cada una de las perforaciones

Profundidad (m)	Litología de los sondeos	
	Sondeo 4	Sondeo 5
0	Llanura de inundación - Material arcillo arenoso a limo arenoso de media plasticidad	Lleno antrópico
1		Llanura de inundación - Material arcillo arenoso a limo arenoso de media plasticidad
2		
3		
4	Depósito aluvial - Material areno limoso	Depósito aluvial - Material areno limoso
5		
6		
7		

Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

A continuación, se describe cada uno de los horizontes encontrados en las perforaciones:

4.3.1 Lleno antrópico

El lleno antrópico corresponde a un material arenoso (arena media a gruesa) con presencia de gravas, material de construcción y fragmentos de concreto (con presencia de una losa de 10 cm de espesor), de coloración a pardo, plasticidad nula y humedad baja. Se encontró hasta una profundidad máxima de 1.00 metros.

Fotografía 6 Lleno antrópico



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

4.3.2 Horizonte 1 – Llanura de Inundación

El horizonte 1 – Llanura de inundación corresponde a un material limo arenoso a arcillo arenoso de baja a media plasticidad, de coloración gris oscuro con tonalidades pardas y rojizas, humedad media y de Consistencia media. Se presenta hasta los 4.00 metros de profundidad, después del cual se presenta un cambio en la rigidez.

Fotografía 7 Horizonte 1 - Llanura de inundación



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

4.3.3 Horizonte 2 – Depósito aluvial

El horizonte 2 – depósito aluvial corresponde a un material areno limoso, de coloración gris verdoso y pardo, con presencia de fragmentos líticos, plasticidad baja a nula, humedad media y consistencia rígida / o densidad relativa densa. Se presenta a partir de los 4.00 metros hasta los 7.50 metros.

Fotografía 8 Horizonte 2 - Depósito aluvial



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

4.4 CONSISTENCIA Y CONTINUIDAD DE LOS ESTRATOS

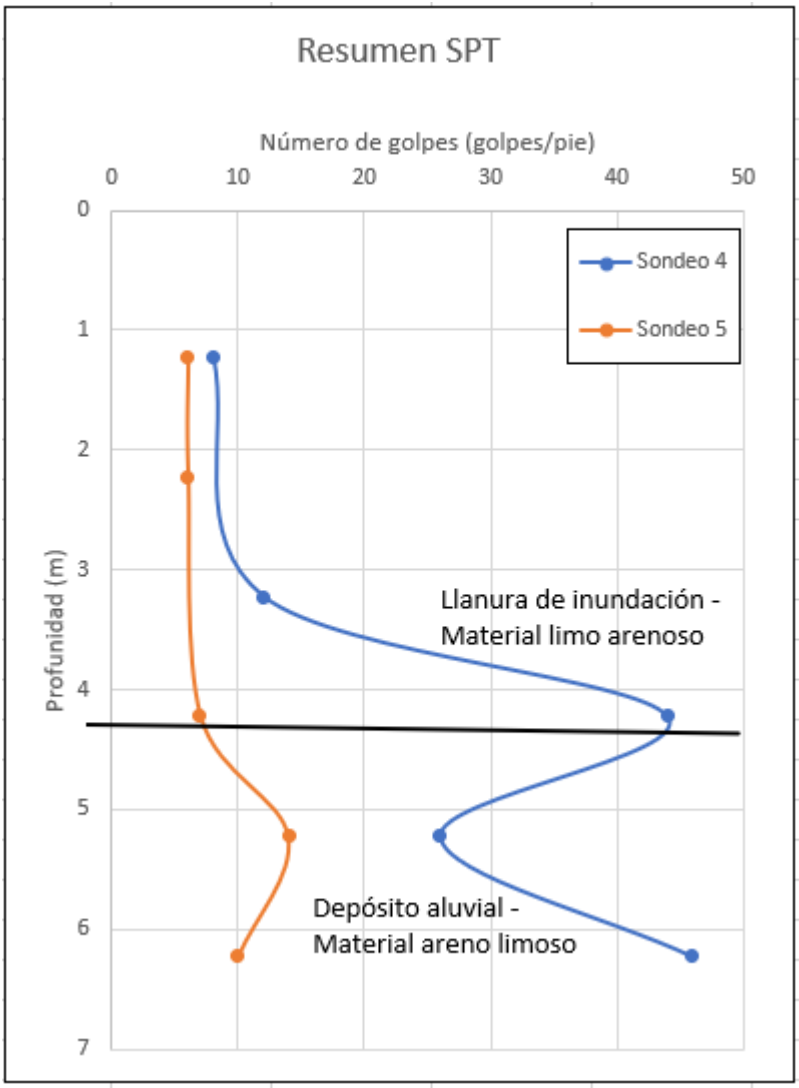
A partir de los resultados del ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar (SPT) se determinó la consistencia de los horizontes de suelo, con base en los criterios presentados en la Tabla 7, tomados a partir de (FHWA, 2006). Para esto se graficó la variación del número de golpes (N) con la profundidad en cada una de las perforaciones Figura 19.

Tabla 7 Propiedades del suelo a partir del ensayo SPT

Sands (Reliable)		Silts and Clays (Unreliable)	
N_{60}	Relative Density	N_{60}	Consistency
0-4	Very loose	Below 2	Very soft
5-10	Loose	2-4	Soft
11-30	Medium Dense	5-8	Medium
31-50	Dense	9-15	Stiff
Over 50	Very dense	16-30	Very stiff
		Over 30	Hard

Fuente: (FHWA, 2006)

Figura 19 Variación del número de (N) con la profundidad



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Con base en la Figura 19 y en la clasificación propuesta en la Tabla 7, se puede concluir que:

- El horizonte 1 – llanura de inundación, presenta una consistencia media de acuerdo a los ensayos SPT
- El horizonte 2 – Depósito aluvial, presenta una consistencia de rígida a muy rígida / densidad relativa medianamente densa. Siendo más rígida que el estrato anterior.

4.5 NIVEL FREÁTICO

Se realizó la medición de los niveles freáticos días después de haber terminado la perforación, para asegurar que la línea del nivel freático se estabilizara dentro de esta, encontrando el nivel freático a una profundidad de 2.50 m para los sondeos 4 y 5 respectivamente, los cuales están presentados en la Tabla 5.

Cabe anotar que estos niveles pueden variar con la época invernal, por tanto, se tiene esto en cuenta en las consideraciones de diseño y construcción.

4.6 ENSAYOS DE LABORATORIO

4.6.1 Ensayos de clasificación

La caracterización física de los diferentes estratos de suelo se realizó a partir de los ensayos de humedad natural (ASTM D2216), límites de consistencia (ASTM D4318) y granulometría por tamizado con lavado sobre la malla 200 (ASTM D422); de esta manera se determina la distribución y tamaño de las partículas, su humedad y la consistencia de los materiales; para poder así categorizarlos dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Esta caracterización permite también correlacionar el potencial de expansibilidad de los suelos, fenómeno que puede dar lugar al levantamiento de las cimentaciones profundas o balanceo de las cimentaciones superficiales. La evaluación se realizó con base en la Tabla H.9.1-1 de la NSR-10

Tabla 8 Clasificación de suelos expansivos (Tabla H.9.1-1 de la NSR-10)

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm^2	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

Fuente: NSR-10

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados de laboratorio realizados sobre las muestras de suelo extraídas. Para mayor información de los resultados de laboratorio mirar el Anexo 2.

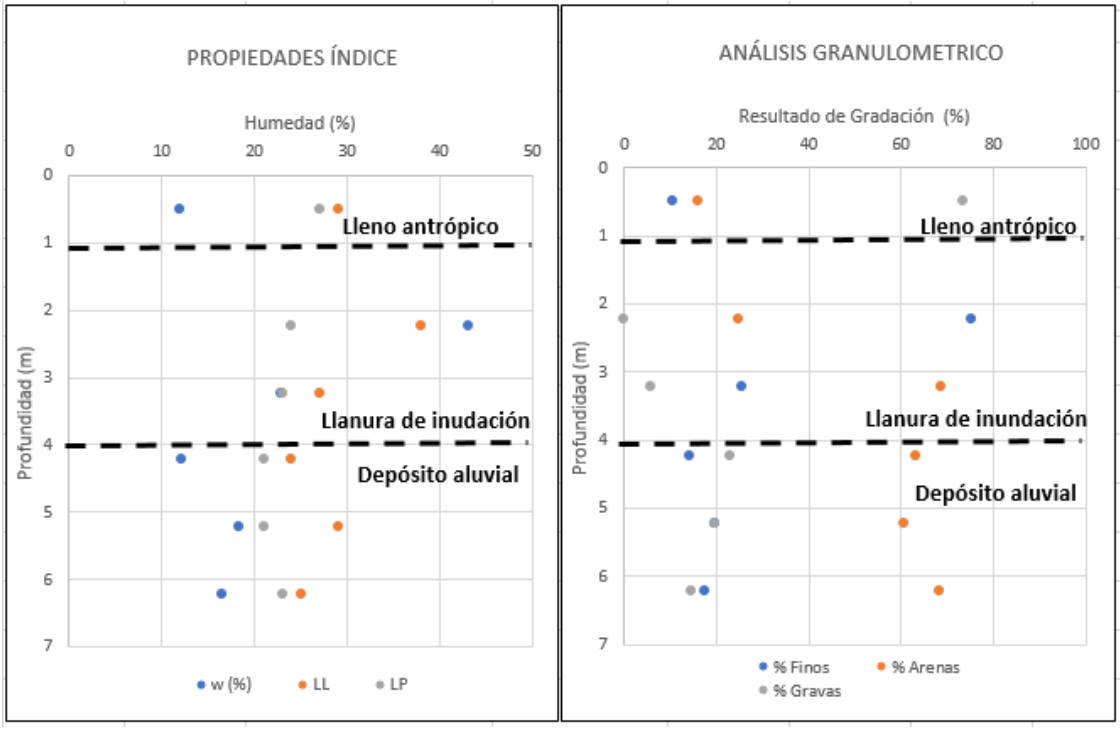
Tabla 9 Resultados de ensayos de laboratorio, ensayos de clasificación

Identificación	Profundidad (m)	Estrato	ω (%)	LL	LP	IP	% Grava	% Arena	N°200	S.C.U.S
S4 - M3	2.00 - 2.45	Llanura de inundación	43.1	38	24	14	0	24.9	75.1	CL
S4 - M5	4.00 - 4.45	Depósito aluvial arenoso	12.1	24	21	7	23	63	14	SM
S4 - M7	6.00 - 6.45	Depósito aluvial arenoso	16.4	25	23	2	14.5	68.2	17.3	SM
S5 - M1	0.00 - 1.00	Lleno antrópico	12	29	27	2	73.3	16.1	10.6	GP - GM
S5 - M4	3.00 - 3.45	Llanura de inundación	22.8	27	23	4	5.9	68.8	25.3	SM
S5 - M6	5.00 - 5.45	Depósito aluvial arenoso	18.4	29	21	8	19.6	60.6	19.7	SC

Fuente: Laboratorio 3axial.

Con el propósito de tener un mayor entendimiento de los resultados de la Tabla 9, se grafican los resultados obtenidos:

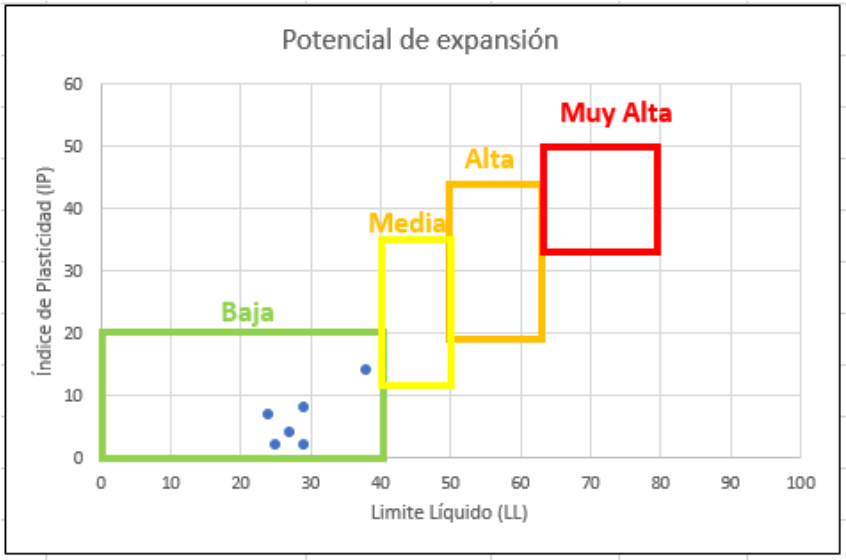
Figura 20 Variación de las propiedades índice con la profundidad del depósito



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

De acuerdo a la Figura 20, se tiene que el primer estrato de suelo correspondiente al lleno antrópico presenta un gran contenido de gravas, el segundo estrato de suelo correspondiente a la llanura de inundación presenta un mayor contenido de material fino clasificándose como un suelo arcilloso de baja plasticidad CL, por último, el tercer estrato de suelo correspondiente al depósito aluvial es un suelo mayormente arenoso, clasificándose como una arena limosa SM. De igual manera, los límites de consistencia presentan el primer y tercer estrato de suelo como grueso granulares, mientras el segundo estrato de suelo como fino granular.

Figura 21 Potencial de expansión del material fino del depósito



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

De la Figura 21, se puede observar que la matriz fina del depósito de suelo presenta un potencial de expansión bajo.

4.6.2 Ensayos de resistencia

La caracterización mecánica de los diferentes estratos se hizo mediante ensayos de campo y ensayos de laboratorio, el ensayo de laboratorio realizado fue el ensayo de corte directo drenado CD (ASTM D3080) y el ensayo de compresión simple (INV E 152) .Este tipo de ensayos tienen como propósito determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo, el corte directo se hace drenado teniendo en cuenta que únicamente está estandarizado para condiciones consolidadas drenadas (CD), debido a la imposibilidad del ensayo de garantizar que la muestra falle en condiciones no drenadas, el ensayo de compresión simple da una aproximación a la resistencia del suelo.

Tabla 10 Resumen ensayos de resistencia

Identificación	Profundidad (m)	Estrato	ω (%)	γwet (Mg/m3)	γd (Mg/m3)	Su (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (kPa)
S4 - M3	2.00 - 2.45	Llanura de inundación	36.0	1.874	1.378	-	3	21
S5 - M4	3.00 - 3.45	Llanura de inundación	21.0	1.943	1.605	26	-	-

Fuente: Laboratorio 3axial.

Se identifica, tanto por el resultado de corte directo como el resultado de compresión simple que la llanura de inundación posee parámetros de resistencia bajos.

4.7 CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE ACUERDO CON LA NSR-10

El municipio de Bello, de acuerdo con la NSR-10, está en una zona de amenaza sísmica intermedia, presentando un coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva **Aa=0.15** y un coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva **Av=0.20**.

Para el caso del proyecto en cuestión, se tiene para la zona donde se construirá la edificación, un perfil litológico que está definido como **perfil tipo D**, de acuerdo con el ensayo de penetración estándar, con el fin de establecer el espectro de diseño.

Tabla 11 Clasificación del perfil de suelo según la NSR 10.

Tipo de perfil	$\bar{v}_s$	$\bar{N}$ o $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$
C	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 kPa (≈ 1 kgf/cm²)
D	entre 180 y 360 m/s	entre 15 y 50	entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm²)
E	menor de 180 m/s	menor de 15	menor de 50 kPa (≈0.5 kgf/cm²)

Fuente: NSR-10

Por último, la NSR-10 en las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4, presenta los valores para los coeficientes Fa y Fv respectivamente, como se muestra a continuación:

Tabla 12 Coeficiente de amplificación horizontal NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

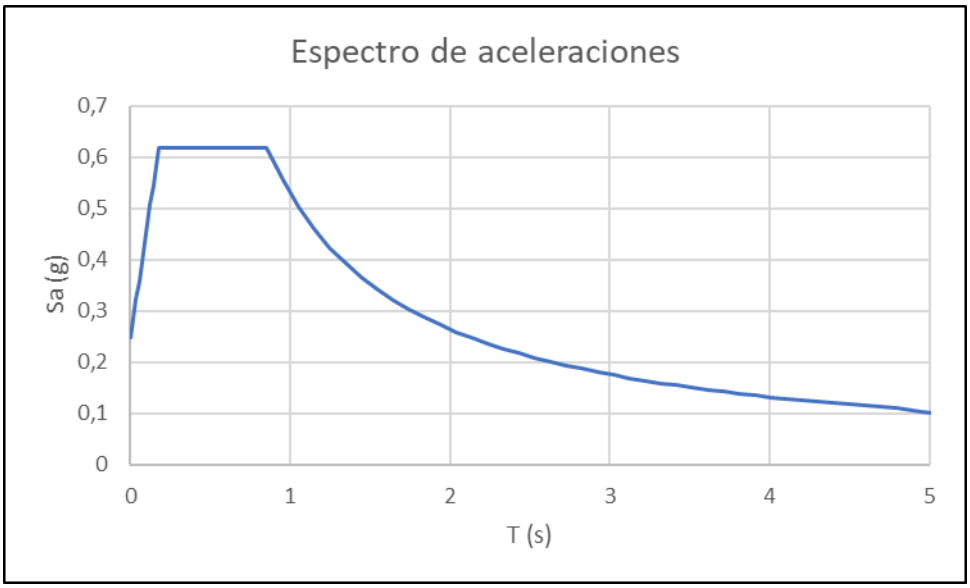
Fuente: NSR-10

Tabla 13 Coeficiente de amplificación vertical NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_V \leq 0.1$	$A_V = 0.2$	$A_V = 0.3$	$A_V = 0.4$	$A_V \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Fuente: NSR-10

Figura 22 Espectro de Aceleraciones. (Se considera Importancia de grupo de uso II)



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

5 MODELO GEOTÉCNICO

5.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DEL SUELO

Partiendo de los resultados del ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar (SPT) ejecutado en campo, del cual se obtuvieron los valores de N (número de golpes/pie), se emplearon correlaciones para estimar los parámetros de resistencia al corte de los materiales en términos de esfuerzos totales y efectivos. Se recurrió a la propuesta metodológica de González (1999) – "Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT" - X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana, en la cual estableció un método aproximado de evaluación de los parámetros efectivos de resistencia c' y φ'. El procedimiento general fue el siguiente (ver Anexo 3):

- Se calcularon los esfuerzos totales, presión de poros y esfuerzos efectivos en el suelo.

- Se determinó el número de golpes corregido por presión de sobrecarga (N1):

$$N_1 = C_N\, N$$
$$C_N = [0.77 \log_{10}(1.92\sigma'_v)] < 2.0$$

- Luego se calculó el número de golpes corregido por la eficiencia del martillo (N45):

$$N_{45} = (\frac{ER}{60\%})N$$

- Partiendo del N145 se calculó el ángulo de ficción efectivo (φ') usando la expresión propuesta por Kishida y JNR, con base en la siguiente expresión:

$$\varphi' = 15 + (12.5N1_{45})^{0.5} \quad \text{kishida}$$
$$\varphi' = 27 + 0.1875 * N1_{45} \quad \text{JNR}$$

Para determinar el módulo de elasticidad se empleó la siguiente expresión para arenas, con base en los valores obtenidos del NSPT, la cual fue extraída de (Bowles, 1997):

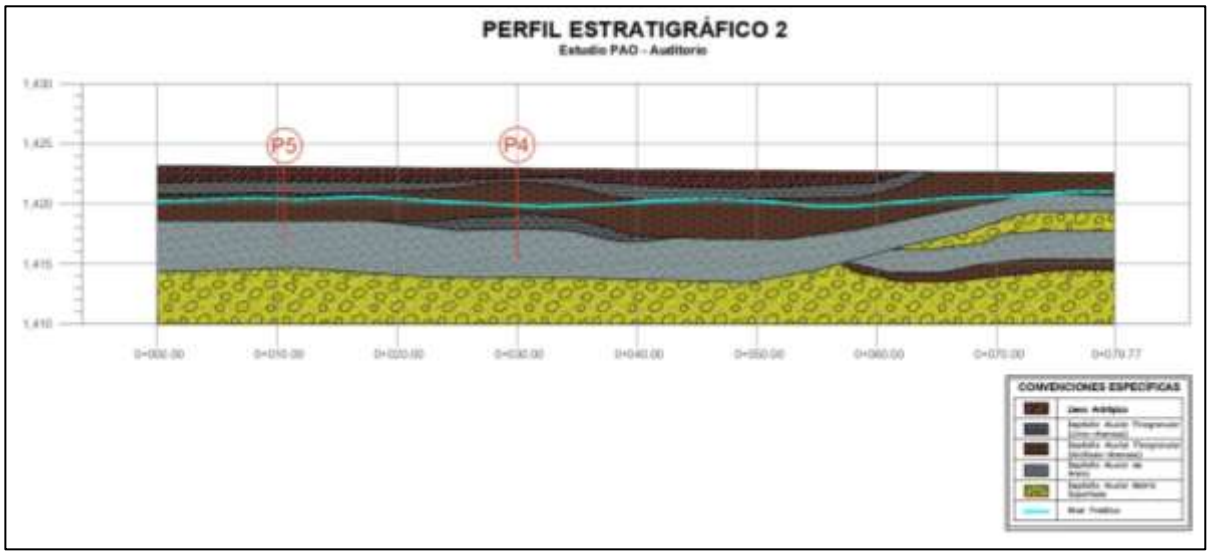
$$E = 500(N1_{60} + 15)$$

5.2 PERFIL GEOLÓGICO GEOTECNICO Y PARÁMETROS GEOMECÁNICOS PROPUESTOS

Los parámetros adoptados con el propósito de diseño de la cimentación, son los calculados a partir de los ensayos de laboratorio (Anexo 2) y de la correlación con el ensayo de penetración estándar (Anexo 3).

Se presenta a continuación el perfil geológico–geotécnico a considerar para la zona.

Figura 23 Perfil geológico-geotécnico a considerar en la zona



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Tabla 14 Parámetros geomecánicos de los materiales para diseño

PARAMETROS GEOMECÁNICOS DE LOS MATERIALES				
Horizonte	**c' (kPa)**	**Ø' (°)**	**γ_m (kN/m^3)**	**E (kPa)**
Horizonte 1 - Llanura de inundación	3	21.0	20	12000
Horizonte 2 - Depósito aluvial	0	27.0	21	15000

Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

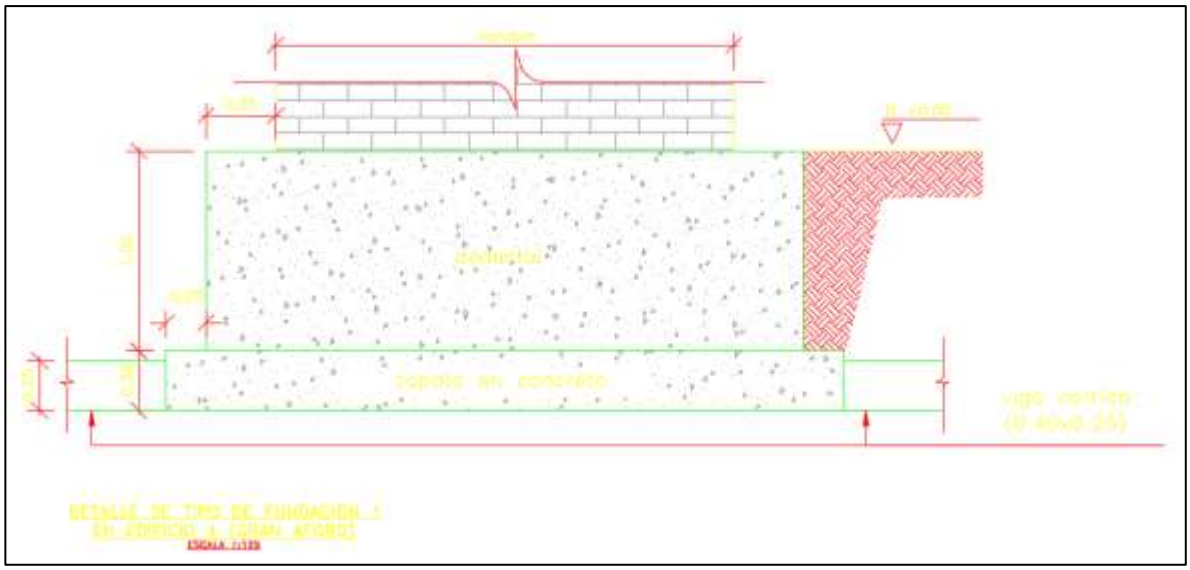
6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIONES

6.1 SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS

Con base en las necesidades del proyecto, se realizan los siguientes análisis:

Se evalúa la capacidad de carga de las zapatas existentes, las cuales corresponden a un solo tipo de cimentación (cimentación tipo 1). Estas zapatas cumplen la función de ser la cimentación del pedestal, que a su vez es el apoyo de los distintos elementos de mampostería que descansan sobre estos y que es la estructura a conservar. Las zapatas tienen una base de 1.50m, un desplante de 1.30m y un largo variable entre 2.40m y 3.65m; todas estas dimensiones son identificadas con base en el plano “PAO GA-EP-P5/5” suministrado por la entidad. El esquema de las zapatas es presentado a continuación:

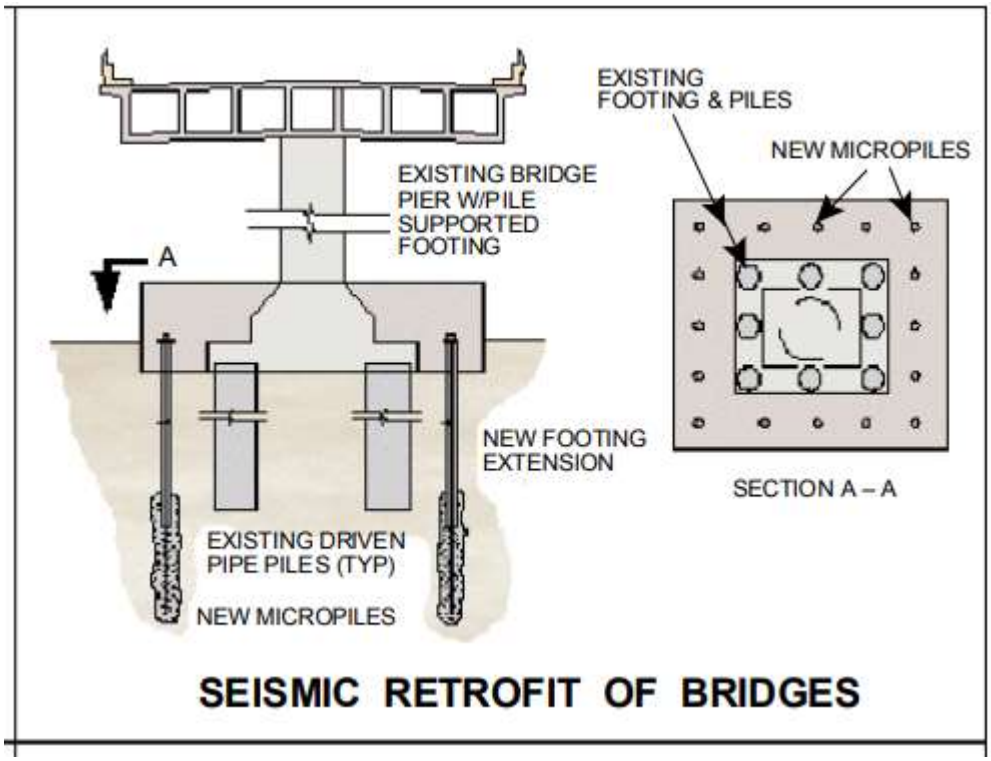
Figura 24 Detalle de zapata tipo 1



Fuente: PAO

En caso de que sea necesario repotenciar las zapatas existentes, lo cual va a ser definido por un estudio de vulnerabilidad sísmica, se propone grupo de micropilotes de barra autoperforante.

Figura 25 Esquema de repotenciación con micropilotes



Fuente: (FHWA, 2005)

Se evalúa también, para la cimentación de la nueva estructura, la capacidad de carga alcanzada tanto con cimentaciones superficiales tipo zapatas como con cimentaciones profundas tipo pila; las cuales se proyectan para soportar adecuadamente las cargas que se puedan generar en las columnas, especialmente la carga de 830 kN. También se plantea la posibilidad de resistir estas cargas mediante grupos de micropilotes.

Por último, se presenta en el Anexo 5 el registro de inspección de las zapatas existentes en campo, junto con el cálculo de su capacidad correspondiente.

6.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZAPATAS EXISTENTE

La metodología para evaluar la capacidad de carga de las cimentaciones superficiales es descrita a continuación.

La capacidad de carga de las cimentaciones superficiales fue determinada por los métodos de Meyerhof y de Hansen, tomando como la capacidad de carga por resistencia como el promedio de estas dos. Se utilizó un factor de seguridad para

cimentaciones superficiales según lo recomendado por la NSR-10, tomando un valor de 3.00.

Se calcula la capacidad de carga de las cimentaciones de la estructura existente para una profundidad de desplante de 1.30 metros, un ancho fijo de 1.50 metros y un largo variable entre 2.40 metros y 3.65 metros, dimensiones que son identificadas con base en el plano “PAO GA-EP-P5/5” suministrado por la entidad

Figura 26 Metodología de Hansen y Meyerhof.

Meyerhof (1963).* See Table 4-3 for shape, depth, and inclination factors.

Vertical load: $q_{ult} = cN_c s_c d_c + \bar{q} N_q s_q d_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma$

Inclined load: $q_{ult} = cN_c d_c i_c + \bar{q} N_q d_q i_q + 0.5\gamma B' N_\gamma d_\gamma i_\gamma$

$$N_q = e^{\pi \tan\phi} \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\phi)$$

Hansen (1970).* See Table 4-5 for shape, depth, and other factors.

General:† $q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q} N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$

when $\phi = 0$

use $q_{ult} = 5.14 s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}$

N_q = same as Meyerhof above

N_c = same as Meyerhof above

$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\phi$

Fuente: (Bowles, 1997)

Se verifica además el asentamiento en las zapatas calculando la presión de la cimentación sobre el suelo que produce un asentamiento elástico máximo de una pulgada (1” = 2.54 cm), para lo cual se calculan por medio de las recomendaciones de Braja Das (1999), suponiendo que la cimentación se comportará flexible, se pueden calcular los asentamientos elásticos por medio de la siguiente expresión:

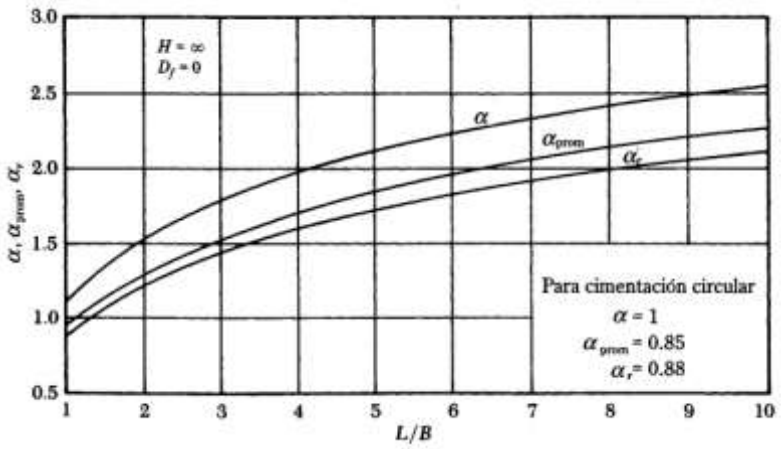
$$S_e = \frac{Bq_o}{E_s}(1 - \mu_s^2)\,\alpha_{prom} \quad \text{(promedio para cimentación flexible)}$$

Donde:

- B: Dimensión más pequeña de la zapata (m).

- q0: Sobrecarga debida a la edificación (kPa)
- Es: Módulo del Suelo (kPa).
- μ: Módulo de Poisson, se considera de 0.40.
- α: Coeficiente de Influencia que depende de la relación L/B. Ver Figura 27.

Figura 27 Valores de α para el cálculo de asentamientos elásticos



Fuente: (Das, 1999)

Para el cálculo del módulo de Balasto, se utilizó la siguiente formulación:

$$K_V = \frac{E_{suelo}}{0.85 * B * (1 - \mu^2)}$$

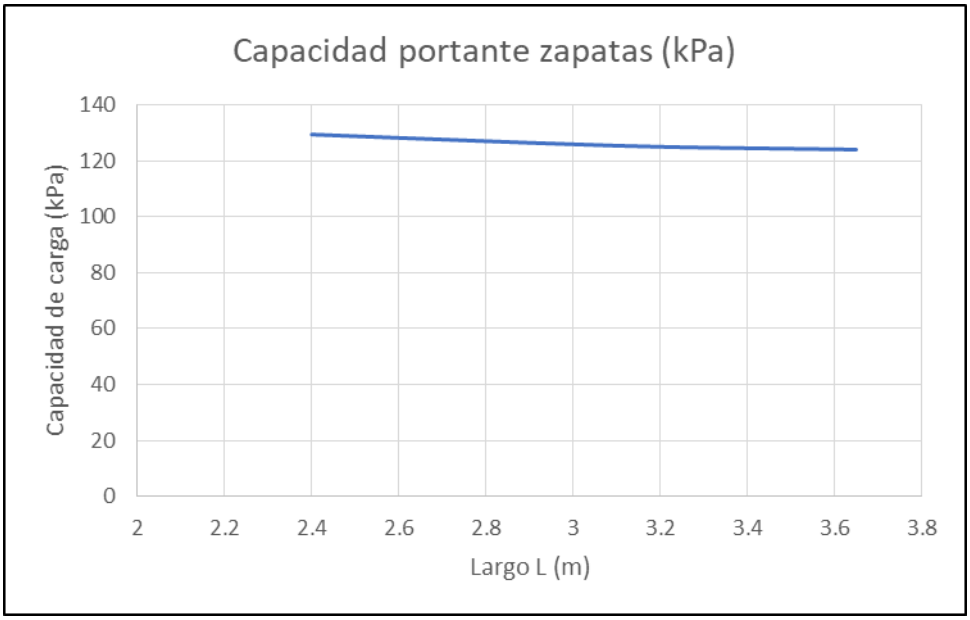
Donde:

- E_{suelo}: $Módulo\ de\ Elasticidad\ del\ Suelo\ (kPa)$.
- B: $Dimensión\ corta\ de\ la\ Zapata\ (m)$.
- μ: $Módulo\ de\ Poisson, se\ considera\ 0.40$.

Se reporta como la capacidad de carga el mínimo calculado entre la capacidad de carga por resistencia y la capacidad de carga por asentamiento. Ver Anexo 4.

La capacidad de carga de las zapatas existentes, las cuales tienen una profundidad de desplante de 1.30 metros, un ancho fijo de 1.50 metros y un largo variable entre 2.40 metros y 3.65 metros es presentada a continuación:

Figura 28 Capacidad de carga de las zapatas existentes



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Se observa que la capacidad de carga es relativamente similar, con un pequeño descenso a medida que aumenta sus dimensiones. En promedio se tiene una capacidad de carga de 125 kPa. El módulo de balasto es de 11200 kN/m^3.

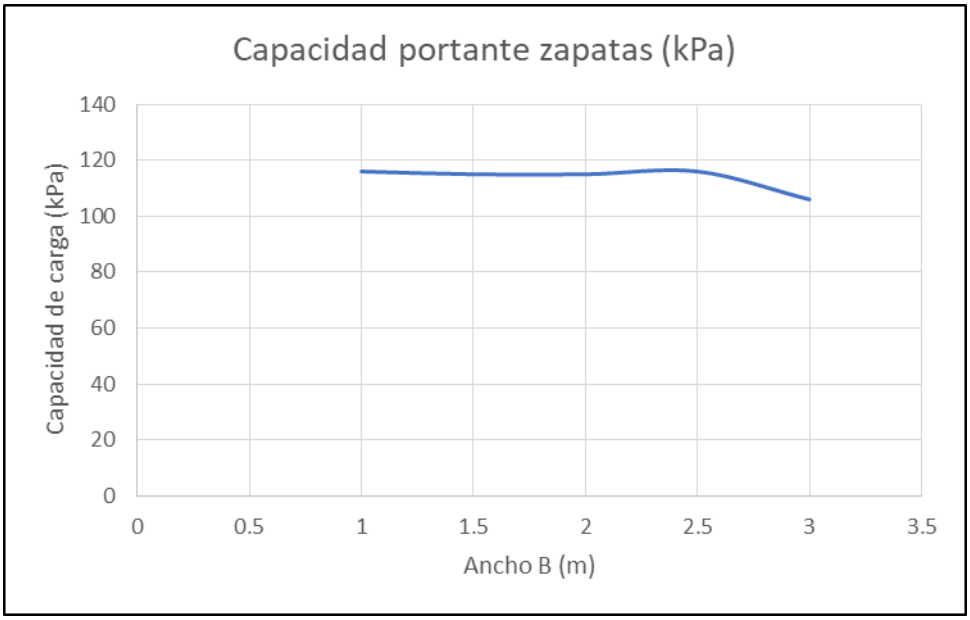
6.3 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZAPATAS DE LA NUEVA ESTRUCTURA

Para la evaluación de la capacidad de carga de las zapatas proyectadas como alternativa de solución de la cimentación de la nueva estructura (Unidad 6 Auditorio) a construir, se utiliza la misma metodología descrita anteriormente, donde la capacidad de carga por resistencia se determina con las fórmulas de Meyerhof y Hansen (ver Figura 26, (Bowles, 1997)) y la capacidad de carga por deformabilidad se determina según la Figura 27 (Das, 1999).

Se evalúa la capacidad para cimentaciones de 1.0 metros de profundidad de desplante, preliminarmente de dimensiones cuadradas, variando su base entre 1.0 metros y 3.0 metros.

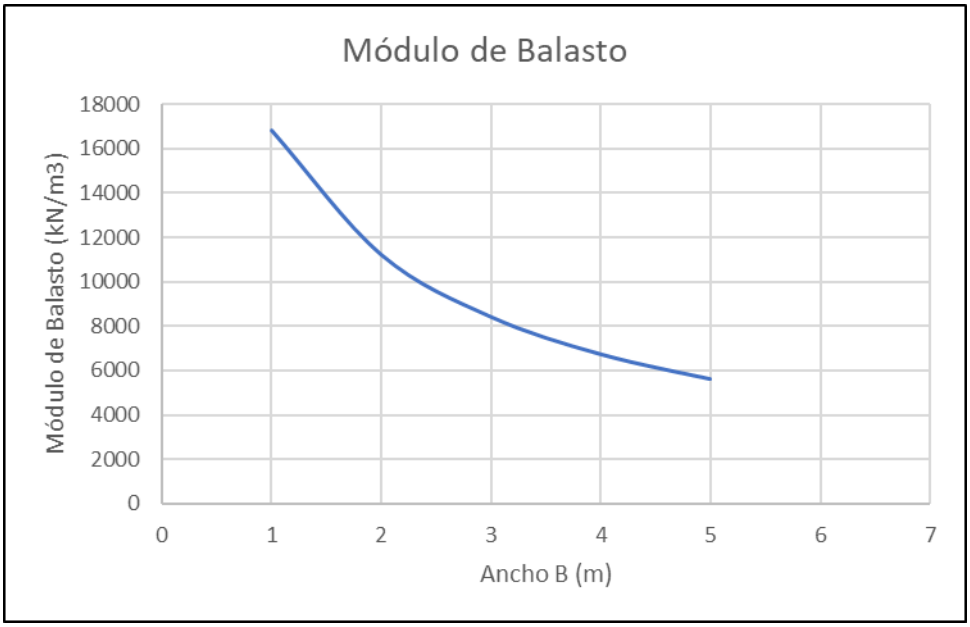
La capacidad de carga de las zapatas para el caso de evaluación de cimentación de nuevas estructuras (superficiales) está dada en la Figura 29, a una profundidad de desplante de 1.00m. El módulo de balasto está dado en la Figura 30.

Figura 29 Capacidad de carga de las zapatas para la nueva estructura



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Figura 30 Modulo de balasto para las zapatas para la nueva estructura



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Se observa que la capacidad de carga es relativamente similar, con un pequeño descenso a medida que aumenta sus dimensiones. En promedio se tiene una capacidad de carga de 115 kPa. El módulo de balasto dado por la Figura 30.

6.4 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE MICROPILOTES PARA REPOTENCIACIÓN

En caso de que la evaluación correspondiente de vulnerabilidad sísmica de la estructura de mampostería existente en el lugar determine que las zapatas existentes necesiten repotenciación, se propone como sistema de repotenciación micropilotes de barra autoperforante.

Se eligen micropilotes tipo de barra autoperforante para la repotenciación del sistema de zapatas existente debido a sus ventajas en cuanto a rendimiento en la ejecución de la obra, mayor resistencia al tratarse de barras de grado fino, y mayor resistencia por fuste debido a su sistema de inyección.

Para poder alcanzar la capacidad de carga requerida se proyectan grupos de micropilotes para la repotenciación, además, se tienen en cuenta distintos diámetros de micropilotes para que el profesional de estructuras pueda contar con distintas configuraciones.

La capacidad de carga de un grupo de micropilotes se define utilizando como base los criterios establecidos en FHWA NHI -05-039 Micropile Design And Construction Reference Manual - Federal Highway Administration (FHWA, 2005)

$$Q_g = \frac{\alpha_{bond}}{FS} * \pi * D_b * L_b * N * \eta$$

Donde:

- Q_g: Capacidad del grupo de micropilotes.
- $\alpha_{bond:}$ Resistencia suelo – micropilote (fuste) última. La cuál está considerada atendiendo la Tabla 15. Para el primer horizonte, correspondiente a un material limo arenoso de consistencia media, la resistencia por fuste elegida es de 85 kPa. Para el segundo horizonte, correspondiente a un material areno limoso de consistencia rígida / densa, la resistencia por fuste elegida es de 142.5 kPa.

Tabla 15 Resistencia suelo - micropilote (fuste) última

Soil / Rock Description	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths, kPa (psi)			
	Type A	Type B	Type C	Type D
Silt & Clay (some sand) (soft, medium plastic)	35-70 (5-10)	35-95 (5-14)	50-120 (5-17.5)	50-145 (5-21)
Silt & Clay (some sand) (stiff, dense to very dense)	50-120 (5-17.5)	70-190 (10-27.5)	95-190 (14-27.5)	95-190 (14-27.5)
Sand (some silt) (fine, loose-medium dense)	70-145 (10-21)	70-190 (10-27.5)	95-190 (14-27.5)	95- 240 (14-35)
Sand (some silt, gravel) (fine-coarse, med.-very dense)	95-215 (14-31)	120-360 (17.5-52)	145-360 (21-52)	145-385 (21-56)
Gravel (some sand) (medium-very dense)	95-265 (14-38.5)	120-360 (17.5-52)	145-360 (21-52)	145-385 (21-56)

Fuente: (FHWA, 2005)

- FS: Factor de seguridad, cuyo valor es de 2. Recomendación de la (FHWA, 2005).
- Db: Diámetro final del micropilote, el cual está dado por la siguiente expresión:

$$D_b = d_b + a$$

- db: diámetro externo de la barra autoperforante, dado por las especificaciones del fabricante. Se eligen 3 diámetros distintos (Tabla 16):

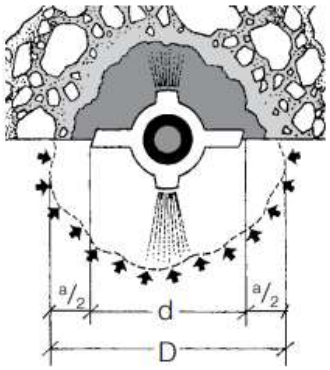
Tabla 16 Diámetro de la barra autoperforante

Designation	Unit	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16	TITAN 52/26	TITAN 73/56	TITAN 73/53	TITAN 73/45	TITAN 73/35	TITAN 103/78	TITAN 103/51	TITAN 103/43	TITAN 127/103
Nominal outside diameter Ø	mm	30	30	40	40	52	73	73	73	73	103	103	103	127
Nominal inside diameter Ø	mm	16	11	20	16	26	56	53	45	35	78	51	43	103
Characteristic load-carrying capacity R_k according to German approval document[1]	kN	155[2]	225[3] (250)	372	490	650	695[2]	900	1218	1386	1626	2500	3015[2]	1800[2]
Yield Point $F_{0.2,k}$ (mean value)	kN	190	260	425	525	730	830	970	1270	1430	1800	2670	3398	2030

Fuente: (ISCHEBECK, 2009)

- a: Factor empírico de ensanchamiento del micropilote. Se elige un valor de 5mm con base en Figura 31.

Figura 31 Factor empírico de ensanchamiento del micropilote



D = d + a
Widening value a ≥ 20 mm
Empirical values supplied by Ischebeck (measured on excavated grout bodies)
a = 75 mm (medium and coarse gravel)
a = 50 mm (sand and sandy gravel)

Fuente: (ISCHEBECK, 2009)

- L_b: Longitud del grupo de micropilotes.
- N: Número de micropilotes del grupo de micropilotes.

- η: Eficiencia del grupo de micropilotes, Dado por la distancia entre micropilotes adyacentes Tabla 17.

Tabla 17 Factor de eficiencia

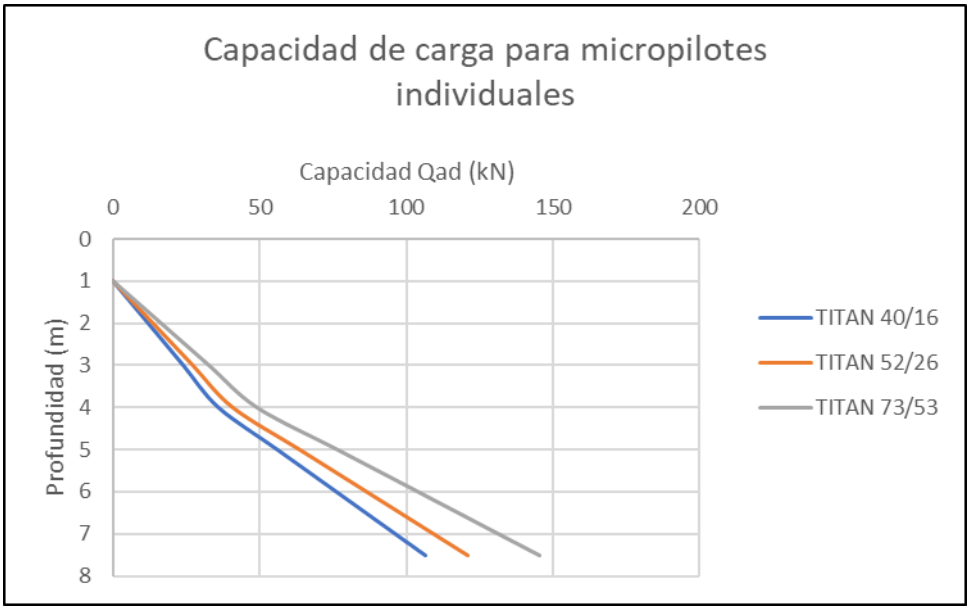
Case	Efficiency Factor, η
If cap is in firm contact with the ground	1.0
If cap is not in firm contact with the ground and the ground is stiff (i.e., undrained shear strength of the soil is greater than 95 kPa (1 ton per square ft (tsf))	1.0
If the cap is not in firm contact with the ground and the ground is relatively soft (i.e., undrained shear strength of the soil is less than 95 kPa (1 tsf)) or is disturbed	
• $s = 2.5\ D_b$	0.65
• $s = 3.0\ D_b$	0.70
• $s = 6.0\ D_b$	1.0
• $3.0\ D_b < s < 6.0\ D_b$	Interpolate between 0.70 and 1.0

Fuente: (FHWA, 2005)

Las memorias de cálculo se presentan en el *Anexo 4*.

En la Figura 32 se muestra presenta la capacidad de carga de los micropilotes individuales, con el propósito de que a partir de estos se puedan definir la cantidad y longitud del grupo de micropilotes necesario para dar la adecuada fundación a las distintas solicitaciones de las estructuras.

Figura 32 Evaluación de la capacidad de carga micropilotes individuales



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

En el caso de que se necesite más de un (1) micropilote para conformar un grupo de micropilotes, es necesario que la distancia mínima entre micropilotes medida de manera centro a centro sea la dada en la Tabla 18

Tabla 18 Separación mínima entre micropilotes

Tipo Barra	$S_{mín}$ (cm)
40/16	55
52/26	65
73/53	75

Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Se aclara que las consideraciones de diseño y repotenciación en cimentaciones con barra autoperforante aquí contenidas están basadas en condiciones particulares del sistema de barra autoperforante tipo TITAN (Ischebeck), por tanto en caso de considerar un sistema de repotenciación diferente (incluso de barra autoperforante) se deberán revisar y ajustar en consecuencia las capacidades portantes pertinentes de los elementos de cimentación/repotenciación, de tal manera que se garanticen las condiciones de seguridad, funcionalidad y estabilidad requeridas.

6.5 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA PARA PILAS DE CIMENTACIÓN PARA LA EDIFICACIÓN PROYECTADA

Como alternativa de cimentación, especialmente para aquella cuya solicitación es de 830kN, se presenta cimentación con pilas pre-excavadas de cimentación, para su análisis.

La capacidad de una pila pre-excavada está dada por la suma de la capacidad en la punta (Qp) y la resistencia por fricción (Qs) generada en la interfaz suelo-cimentación, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R_u = R_{su} + R_{bu}$$

Donde R_{su} es la resistencia del suelo desarrollada en el fuste de la pila por mecanismos de fricción y R_{bu} es la capacidad de apoyo de la punta de la pila.

$$R_{su} = P_p \int_0^L (c_a + \sigma_v'(z) K tan\delta)\, dz$$

$$R_{bu} = A_b\left(c' N_c + \sigma_v'(L) N_q\right)$$

$$N_c = \left(N_q - 1\right) cot\emptyset$$

$$N_q = tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) e^{\pi tan\varphi}$$

Donde:

- c_a: Es la adherencia que se desarrolla entre la superficie de contacto de la cimentación y el suelo.
- $\sigma_v'(z)$: Es la tensión vertical efectiva.
- $\beta = K tan\delta$ Corresponde a la componente de fricción a lo largo de la superficie del fuste.
- K_0: Corresponde al coeficiente de empuje horizontal y depende del grado de consolidación del terreno y del proceso constructivo de la cimentación.
- δ: Es el ángulo de fricción entre la superficie de la pila y del suelo.
- P_p: Representa el perímetro de la pila.
- D: Diámetro de la pila.
- A_b: Área de la base de la pila.
- L: Longitud efectiva de la pila.
- N_c y N_q : Factores de capacidad de carga dependientes del ángulo de fricción interna φ y de la resistencia al corte no drenado Su.

Se considera un factor de seguridad FS = 3.0 en punta y FS = 2.0 en fuste, para poder calcular la capacidad admisible de carga.

Además de esto, se calculan los asentamientos que se esperan tengan la pila hasta la profundidad de exploración, estas se calculan siguiendo las recomendaciones de **Fuente especificada no válida.**.

$$s = s_1 + s_2 + s_3$$

Donde:

- s: Asentamiento total de la pila
- s_1: Asentamiento elástico de la pila
- s_2: Asentamiento del pilote causado por la carga en la punta de la pila
- s_3: Asentamiento del pilote causado por la carga transmitida a lo larga del fuste de la pila

Siendo:

$$s_1 = \frac{(Q_{wp} + \varepsilon Q_{ws})L}{A_p\, E_p}$$

$$s_2 = \frac{q_{wp} D\ (1-\mu) I_{wp}}{E_S}$$

$$s_2 = \frac{Q_{ws} D (1-\mu)\ I_{ws}}{pLE_S}$$

Donde:

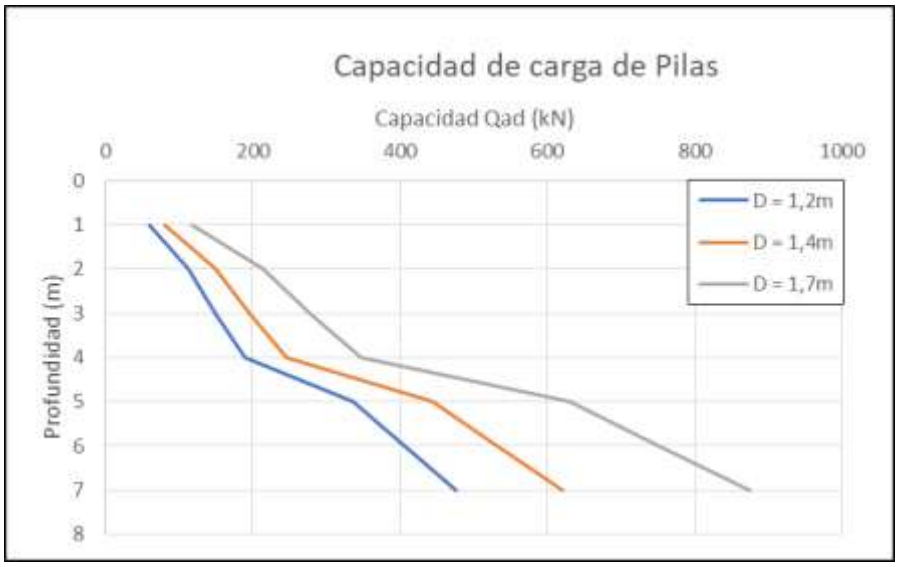
- Q_{wp}: Carga en la punta del pilote bajo carga de trabajo
- Q_{ws}: Carga por fricción bajo carga de trabajo
- A_p: Área de la sección transversal de la pila
- L: Longitud de la pila
- E_p: Módulo de elasticidad del material de la pila (se supone concreto)
- ε: Factor que depende de la distribución de la resistencia por fricción. Se supone triangular por tanto ε = 0.67
- q_{wp}: carga puntual por área unitario en la punta de la pila
- μ: relación de Poisson del suelo
- I_{wp}: Factor de influencia = 0.85
- I_{ws}: Factor de influencia $I_{ws} = \left(2 + 0.35\sqrt{{}^{L}/_{D}}\right)$.

Por último, el módulo de reacción horizontal de la pila está dado por (Vesic, 1961):

$$k_h = 0{,}65 \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot D^4}{E_p \cdot I_p}} \cdot \frac{E_s}{(1-\mu^2)}$$

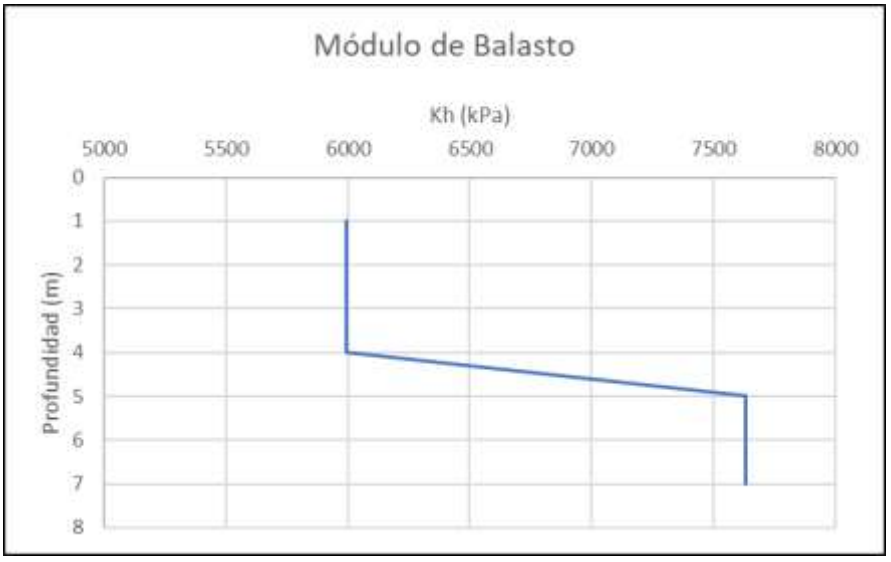
Por tanto, la capacidad de carga para pilas de diámetro de **1.20m, 1.40m y 1.70m**; se presentan con base en el perfil estratigráfico encontrado en la zona.

Figura 33 Capacidad de carga de las pilas pre-excavadas



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

Figura 34 Módulo de balasto de las pilas



Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con la caracterización geotécnica del lote y teniendo en cuenta la magnitud de las obras proyectadas, las conclusiones y recomendaciones en cuanto al sistema de cimentación son las siguientes:

7.1 EVALUACIÓN DE LAS CIMENTACIONES

7.1.1 Cimentaciones superficiales existentes

La evaluación de la capacidad de carga de las cimentaciones existentes está dada por la Figura 28, y está dada para las condiciones de las zapatas encontradas en el lugar según los planos, las cuales son zapatas que tienen una profundidad de desplante de 1.30 metros, un ancho fijo de 1.50 metros y un largo variable entre 2.40 metros y 3.65 metros. En promedio se tiene una capacidad de carga de 125 kPa. El módulo de balasto es de 11200 kN/m^3.

Por último, se presenta en el Anexo 5 el registro de inspección de las zapatas existentes en campo, junto con el cálculo de su capacidad correspondiente.

7.1.2 Cimentaciones superficiales existentes

Para la estructura a construir del auditorio, como primera alternativa de cimentación se propone un sistema de cimentación por zapatas superficiales, cuyos valores de capacidad de carga están dadas en la Figura 29, cuyo valor promedio es de 115 kPa, y el módulo de balasto está dado en la Figura 30.

7.1.3 Cimentaciones profundas – micropilotes

En el caso de que se necesite, para la repotenciación de la cimentación se proponen grupos de micropilotes de barra autoperforante, por sus ventajas en cuanto a rendimiento en la ejecución de la obra, mayor resistencia al tratarse de barras de grado fino, y mayor resistencia por fuste debido a su sistema de inyección.

La evaluación individual de está dada en la Figura 32.

En caso de que sea necesario un grupo de micropilotes, el espaciamiento individual entre ellos medida de manera centro a centro está dado en la Tabla 18. El diseño del micropilote autoperforante deberá ser verificado estructuralmente.

7.1.4 Cimentaciones profundas – pilas

Para la estructura a construir del auditorio, como segunda alternativa de cimentación, y pensando principalmente en la carga de servicio mayor a 830kN, se propone un sistema de cimentación por pilas profundas de distintos diámetros, cuyos valores de capacidad de carga están dadas en la Figura 33, y cuyo módulo de balasto está dado en la Figura 34.

7.1.5 Afectación por vegetación presente

Acorde con los recorridos de campo, y análisis realizados la cimentación existente no se encontró afectada por la presencia de elementos arbóreos y/o vegetación. De igual manera se considera que los elementos arbóreos presentes y la vegetación no se tenga afectación negativa en el comportamiento del suelo y las cimentaciones proyectadas.

7.2 PARÁMETROS SÍSMICOS

Para efectos del análisis sismo-resistente de las estructuras se tendrán en cuenta los siguientes parámetros según NSR-10.

Tabla 19 Clasificación sísmica del sitio según NSR 10.

ZONA DE RIESGO SÍSMICO	INTERMEDIA
Tipo de Perfil del suelo	D
Aa	0.15
Av	0.20
Fa	1.5
Fv	2.0
Grupo de Uso	II
Coeficiente de Importancia	1.10

Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

7.3 RECOMENDACIONES PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES

- Las excavaciones podrán ejecutarse por métodos manuales o métodos mecánicos de acuerdo a las indicaciones de la Interventoría.
- Se deben adoptar las precauciones necesarias para evitar derrumbes durante las excavaciones. Dado que los suelos en la zona de estudio se disgregan y pueden perder su cohesión, es necesario proteger las paredes de los cortes. Opcionalmente se pueden realizar las excavaciones por medio de taludes con una inclinación no mayor a (45 + ϕ/2) °.
- Los productos de la excavación que no hayan de retirarse inmediatamente, así como los materiales que hayan de acumularse, se apilarán a una distancia suficiente del borde de la excavación para que no supongan una

sobrecarga que pueda dar lugar a desprendimientos o corrimientos de tierras en los taludes de corte.

- El vaciado de las cimentaciones debe realizarse en la medida de lo posible, tan pronto se finalice la excavación; debe evitarse el vaciado en excavaciones propensas o sometidas a inundaciones.
- **La zapata de cimentación deberá estar apoyada sobre un reemplazo de material granular debidamente seleccionado y compactado de mínimo 0.30m de espesor.**

7.4 RECOMENDACIONES PARA MICROPILOTES

- Los micropilotes propuestos deberán revisarse por pandeo verificando que la fuerza axial a la que se encontrarán sometidas no rebasará la fuerza crítica Pc.
- La excavación de los micropilotes deberá ser con maquinaria especializada para este fin.
- Por facilidad constructiva, se dará inicio a la perforación e instalación de micropilotes, para posteriormente adelantar la excavación del elemento vinculante (bien sea zapata o dado de cimentación).
- La lechada se estima con una relación A/C de 0.5, la cual se ajusta a una resistencia de 21 MPa; este parámetro debe ser verificado en obra mediante la toma aleatoria de testigos (probetas cubicas) y evaluación en el laboratorio.
- La presión de inyección dinámica de la lechada final estabilizadora, considerando la relación A/C de 0.5, deberá ser mínimo de 20 Bares.
- Dado que los métodos de cálculo de capacidad de micropilotes tienen un sustento empírico, antes de dar inicio a la construcción, se sugiere programar mínimo dos pruebas de carga a compresión o a tracción, a partir de la cual se darán los ajustes pertinentes de diseño y así optimizar el número de elementos requeridos. La prueba debe acogerse a la norma ASTM 1143 (prueba lenta) y ajustes particulares por parte del Geotecnista a cargo.
- La longitud de los micropilotes deberá ser rectificada y aprobada por el ingeniero geotecnista encargado durante el proceso de construcción.

7.5 RECOMENDACIONES PARA LAS PILAS PRE-EXCAVADAS

- El diámetro de las pilas propuestas deberá revisarse por pandeo verificando que la fuerza axial a la que se encontrarán sometidas no rebasará la fuerza crítica Pc. Si el diámetro propuesto no cumple, este se deberá aumentar sin modificar la cota final y el material de desplante.

- Se aclara que los diámetros de las pilas recomendados en este informe son diámetros efectivos, por lo cual se deberá tener en cuenta la sobre excavación de los anillos de concreto para las cantidades de obra.
- La excavación de las pilas se podrá realizar de manera manual o con maquinaria especializada para este fin. Si se opta por excavación manual, ésta se deberá entibar mediante la construcción de anillos de concreto con el fin de garantizar la seguridad de las cuadrillas de excavación.
- Durante la excavación de las pilas se deberá llevar el registro de los materiales excavados y los niveles freáticos detectados. Esto con el fin de ser verificado con lo planteado en este informe.
- Antes de iniciar el vaciado del concreto de los pilotes, se deberá verificar que el fondo de la excavación se encuentre limpio y libre de lodos. También se deberá limpiar el interior de los anillos de revestimiento, para garantizar la fricción entre el concreto del anillo y el vaciado de la pila.
- Se deberá supervisar que no se produzcan desprendimientos de las paredes de la excavación que puedan formar estrangulamientos durante el vaciado.
- La longitud de las pilas debe ser rectificada y aprobada por el ingeniero geotecnista encargado durante el proceso de construcción.
- No se recomienda la excavación de campanas, esto para evitar desprendimiento y derrumbe del material de desplante.

7.6 CONTROLES Y VERIFICACIÓN

Una vez elaborados los cálculos estructurales de la cimentación y los planos correspondientes, se solicita enviar una copia a BIOEXPLORA S.A.S para revisión y recomendaciones adicionales según se estime conveniente. En los planos estructurales de las fundaciones deberán indicarse las cotas de cimentación y capacidad admisible de soporte. Es recomendable y necesario que el ingeniero de suelos tenga un control sobre el comportamiento de las soluciones recomendadas a medida que se avance en la construcción de las cimentaciones, en consecuencia, antes de iniciar la construcción, se recomienda adelantar una reunión con el constructor e interventor, con el objeto de coordinar las visitas a la obra y los programas de verificación.

8 LIMITACIONES

Es importante resaltar que los datos consignados en este informe obedecen a los resultados de las etapas constitutivas del trabajo de consultoría y a la experiencia de los profesionales técnicos que participaron en la elaboración del documento, el cual corresponde a un informe de valoración preliminar geológico-geotécnica para el proyecto y que podrá ser ajustado en revisiones posteriores según haga falta.



Marlon M. Agámez Agámez

Ingeniero Civil., Esp. Geotécnia

TP: 13202203754BLV

9 Bibliografía

Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design.* Mc Graw Hill. 4ed.

Consorcio Microzonificación. (2006). *Microzonificación sísmica detallada d elos municpiosd e Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.* Medellín.

Das, B. (1999). *Principles of Foundation Engineering.* Pacific Grove, CA: Thomson/Brooks/Cole.

FHWA. (2005). *Micropile Design and Construction.* Washington, D.C.: Federal Highway Administration.

FHWA. (2006). Soils and Foudations.

ISCHEBECK. (2009). *TITAN MICROPILES.*

Triángulo Ingeniería S.A.S. (2011). *Caracterización Geotécnica y de Suelos de PAO.*

FP Oficina de Arquitectura S.A.S.
NIT 900698287-7

Anexo 1. Registros de Perforación

Calle 40 # 65-03 interior 203, Edificio Guacarí.
+57(4) 557 78 30
contacto@fparquitectura.com.co
www.fparquitectura.com.co
Medellín – Colombia

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

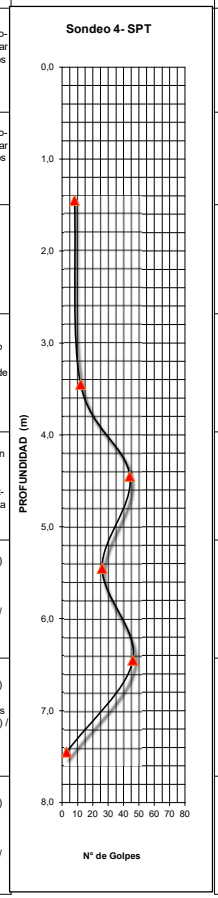
OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO) (Auditorio)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquía
CLIENTE: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)

RESPONSABLE: Alejandra Manco Garcés
FECHA: 29/04/2021
PERFORÓ: Luis Diaz y Eduardo Coneo **(SPT y Rotación)**

Sondeo N°4

PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	MUESTRA	MUESTREADOR	N° de Golpes	Tiempo de perforación (min)	Rata de perforación (m/min)	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
0,00	1,00		Pala Coca	N.A				Llanura de inundación - depósito aluvial finogranular / Material arcillo-arenoso (arena fina) compuesto principalmente de matriz finogranular (arcilla) / Coloración gris oscuro / Presencia de detritos de filosilicatos (micas) y materia orgánica oxidada / Plasticidad media a alta/ Humedad media a alta / Consistencia media.
1,00	1,45		SPT	8				Llanura de inundación - depósito aluvial finogranular / Material arcillo-arenoso (arena fina) compuesto principalmente de matriz finogranular (arcilla) / Coloración gris oscuro / Presencia de detritos de filosilicatos (micas) y materia orgánica oxidada / Plasticidad media a alta/ Humedad media a alta / Consistencia rígida.
2,00	2,45	3	Shelby	N.A			2,50 m	Esta muestra corresponde a un Shelby.
3,00	3,45		SPT	12				Llanura de inundación - depósito aluvial finogranular / Material limo arenoso (arena fina a media) compuesto principalmente de matriz finogranular (limo) / Coloración gris oscuro / Presencia de detritos de filosilicatos (micas) y materia orgánica oxidada /Plasticidad media/ Humedad media a alta/ Consistencia moderadamente denso.
4,00	4,45		SPT	44				Depósito aluvial de arena / Material arenoso (arena fina a media) con presencia leve de gravas, compuesto principalmente de matriz finogranular (arena fina) / Coloración gris oscuro / Presencia de fragmentos líticos y detritos de filosilicatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad baja a nula / Humedad alta a muy alta / Consistencia denso.
5,00	5,45		SPT	26				Depósito aluvial de arena / Material arenoso (arena media a gruesa) con presencia leve de gravas, compuesto principalmente de matriz finogranular (arena fina) / Coloración gris oscuro / Presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosilicatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad baja a nula / Humedad alta a muy alta / Consistencia moderadamente denso.
6,00	6,45		SPT	46				Depósito aluvial de arena / Material arenoso (arena media a gruesa) con presencia leve de gravas, compuesto principalmente de matriz finogranular (arena fina) / Coloración gris / Presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosilicatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad nula / Humedad alta a muy alta / Consistencia denso.
7,00	7,45		SPT / Rechazo a 7.70	3				Depósito aluvial de arena / Material arenoso (arena media a gruesa) con presencia leve de gravas, compuesto principalmente de matriz finogranular (arena fina) / Coloración gris oscuro / Presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosilicatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad baja a nula / Humedad alta / Consistencia suelto.

CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Profundidad vs Nº de Golpes)
RATA DE PERFORACIÓN (Profundidad vs Tiempo)



PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	Humedad (%)	Peso Unitario Húmedo (Mg/m3)	GRAVEDAD ESPECIFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación USC
0,00	1,00									
1,00	1,45									
2,00	2,45									
3,00	3,45									
4,00	4,45									
5,00	5,45									
6,00	6,45									
7,00	7,45									

GRANULOMETRÍA (Porcentaje que pasa)

GRAVAS 3/4	GRAVAS 1/2	GRAVAS 3/8	ARENA GRUESA N°4	ARENA GRUESA N°10	ARENA MEDIA N° 40	ARENA FINA N° 200	Curvas Granulométricas

Calle 40 # 65-03 interior 203, Edificio Guacarí.
+57(4) 557 78 30
contacto@fparquitectura.com.co
www.fparquitectura.com.co
Medellín – Colombia

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

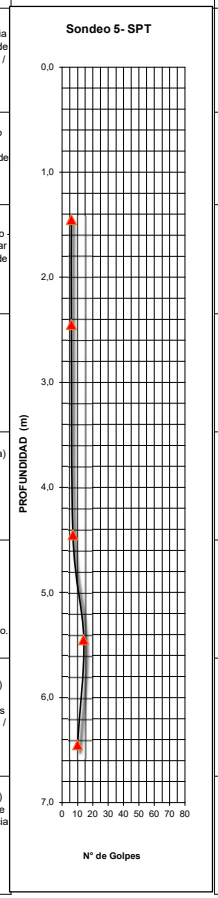
OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO) (Auditorio)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquía
CLIENTE: Área Metropolitana del Velle de Aburrá (AMVA)

RESPONSABLE: Alejandra Manco Garcés
FECHA: 29/04/2021
PERFORÓ: Luis Diaz y Eduardo Coneo **(SPT y Rotación)**

Sondeo N°5

PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	MUESTRA	MUESTREADOR	N° de Golpes	Tiempo de perforación (min)	Rata de perforación (m/min)	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
0,00	1,00		Pala Coca	N.A				Lleno Antrópico / Material transportado areno - gravoso (arena media a gruesa) con presencia de gravas y cantos / Presencia de material de construcción, cantos heterolíticos muy alterados / Coloración pardo / Plasticidad nula / Humedad baja / Presencia de material de construcción, fragmentos de concreto (loza de 10 cm de espesor).
1,00	1,45		SPT	6				Llanura de inundación - depósito aluvial finogranular / Material limo arenoso (arena fina a media) compuesto principalmente de matriz finogranular (limo) / Coloración pardo rojizo / Presencia de detritos de filosiliatos (micas) /Plasticidad media/ Humedad baja a media/ Consistencia medio.
2,00	2,45		Shelby	6			2,50 m	Llanura de inundación - depósito aluvial finogranular / Material arcillo - arenoso (arena fina) compuesto principalmente de matriz finogranular (arcilla) / Coloración gris - rojizo (oxidación) / Presencia de detritos de filosiliatos (micas) /Plasticidad media a alta/ Humedad media/ Consistencia media.
3,00	3,45	4	SPT	N.A				Esta muestra corresponde a un Shelby.
4,00	4,45		SPT	7				Depósito aluvial de arena / Material limo arenoso (arena fina a media) con muy pocas gravas, compuesto principalmente de matriz finogranular (limo - arena fina) / Coloración gris / Presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosiliatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad baja / Humedad media a alta / Consistencia suelto.
5,00	5,45		SPT	14				Depósito aluvial de arena / Material limo arenoso (arena media a gruesa) con pocas gravas, compuesto principalmente de matriz finogranular (limo - arena fina) / Coloración gris / Presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosiliatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad baja / Humedad alta / Consistencia moderadamente denso.
6,00	6,45		SPT	10				Depósito aluvial de arena / Material arenoso (arena media a gruesa) con presencia leve de gravas, compuesto principalmente de matriz finogranular (arena fina) / Coloración gris / Presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosiliatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad nula / Humedad alta a / Consistencia suelto.
7,00	7,25		SPT / Rachazo a 7.25	R				Depósito aluvial de arena / Material arenoso (arena media a gruesa) con presencia de gravas y cantos (<3cm), compuesto principalmente de matriz finogranular (arena fina) / Coloración gris oscuro / Presencia de fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosiliatos (micas) / Fracción matriz-fragmentos líticos (70 / 30%) / Plasticidad nula / Humedad alta / Consistencia suelto a moderadamente denso.

CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Profundidad vs Nº de Golpes)
RATA DE PERFORACIÓN (Profundidad vs Tiempo)



PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	Humedad (%)	Peso Unitario Húmedo (Mg/m3)	GRAVEDAD ESPECIFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plastico	Índice Plástico	Clasificación USC
0,00	1,00									
1,00	1,45									
2,00	2,45									
3,00	3,45									
4,00	4,45									
5,00	5,45									
6,00	6,45									
7,00	7,25									

GRANULOMETRÍA (Porcentaje que pasa)

GRAVAS 3/4	GRAVAS 1/2	GRAVAS 3/8	ARENA GRUESA N°4	ARENA GRUESA N°10	ARENA MEDIA N° 40	ARENA FINA N° 200	Curvas Granulométricas

Calle 40 # 65-03 interior 203, Edificio Guacarí.
+57(4) 557 78 30
contacto@fparquitectura.com.co
www.fparquitectura.com.co
Medellín – Colombia

FP Oficina de Arquitectura S.A.S.
NIT 900698287-7

Anexo 2. Ensayos de laboratorio

Calle 40 # 65-03 interior 203, Edificio Guacarí.
+57(4) 557 78 30
contacto@fparquitectura.com.co
www.fparquitectura.com.co
Medellín – Colombia

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 82 47-118, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 580 5027 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

COMPRESIÓN SIMPLE O INCONFINADA (ASTM D2166)

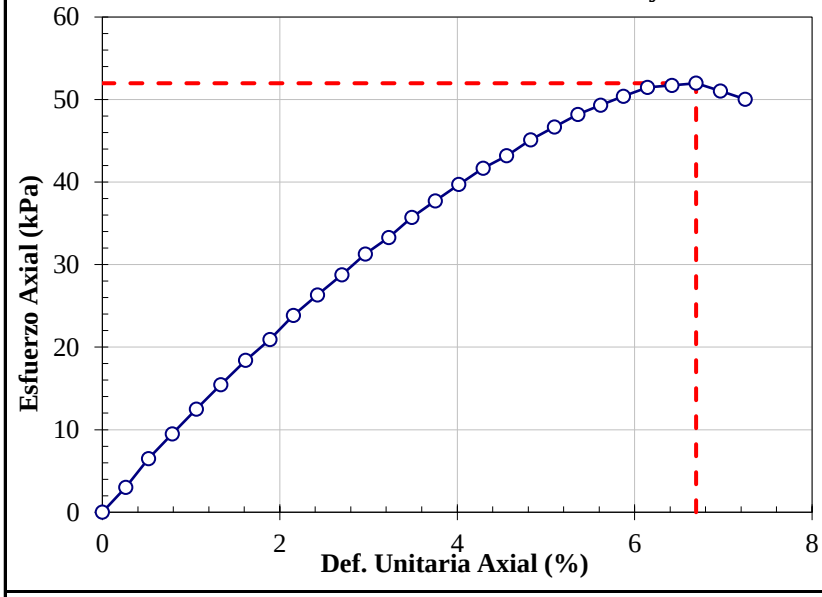
Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Arena limosa (gris)

Perforación: S5
Muestra: M4
Prof. (m): 3

Datos Iniciales

Altura inicial, H_o (mm) =	124.46	Contenido de agua (espécimen completo), w (%) =	21.0
Diámetro inicial, D_o (mm) =	54.09	Densidad húmeda, ρ_{wet} (Mg/m^3) =	1.943
Área , A_o (mm^2) =	2297.44	Densidad seca, ρ_d (Mg/m^3) =	1.605
Volumen inicial, V_o (mm^3) =	285939.67	Grado de saturación, S (%) =	83.3
Relación altura/diámetro =	2.3	Gravedad específica, G_s (asumida) =	2.70

Curva Esfuerzo-Def. Unitaria y Parámetros de Resistencia



Resistencia a la compresión simple:
q_u (kPa) = 52.0

Def. unitaria axial a la falla:
$\varepsilon_{a(falla)}$ (%) = 6.7

Resistencia al corte no drenada:
s_u (kPa) = 26.0

Velocidad promedio de carga:
$\Delta\varepsilon_a$ (%/min) = 0.6

Modo de falla:
Grietas diagonales

Registro Fotográfico

Antes del ensayo	Después de la falla
	

Notas y Comentarios

Tel: +57(4) 580 5027 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

	0°	120°	240°	H_o (mm)
Longitud (mm)	124.46	124.56	124.36	124.46

	Superior	Centro	Inferior	D_o (mm)
Diámetro (mm)	54.10	54.00	54.15	54.09

Carga axial (kgf)	**Def. axial (mm)**	**Área corregida (mm^2)**	**Esfuerzo axial (kPa)**	**Def. axial unitaria (%)**
0.00	0.0	2297.44	0.0	0.00
0.71	0.3	2303.55	3.0	0.27
1.53	0.7	2309.50	6.5	0.52
2.24	1.0	2315.68	9.5	0.79
2.96	1.3	2322.07	12.5	1.06
3.67	1.7	2328.50	15.5	1.33
4.38	2.0	2335.15	18.4	1.61
5.00	2.4	2341.66	20.9	1.89
5.71	2.7	2348.00	23.8	2.15
6.32	3.0	2354.58	26.3	2.43
6.93	3.4	2361.19	28.8	2.70
7.55	3.7	2367.64	31.3	2.96
8.06	4.0	2374.13	33.3	3.23
8.67	4.3	2380.45	35.7	3.49
9.18	4.7	2387.01	37.7	3.75
9.69	5.0	2393.60	39.7	4.02
10.20	5.3	2400.43	41.7	4.29
10.60	5.7	2407.10	43.2	4.56
11.11	6.0	2414.01	45.1	4.83
11.52	6.3	2420.76	46.7	5.09
11.93	6.7	2427.54	48.2	5.36
12.24	7.0	2434.15	49.3	5.62
12.54	7.3	2440.80	50.4	5.87
12.85	7.7	2447.90	51.5	6.15
12.95	8.0	2455.05	51.7	6.42
13.05	8.3	2462.24	52.0	6.69
12.85	8.7	2469.47	51.0	6.97
12.64	9.0	2476.95	50.0	7.25

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

CLASIFICACIÓN: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D6913, D1140, D4318)

Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Arcilla de baja plasticidad con arena (gris)

Perforación: S4
Muestra: M3
Prof. (m): 2

Equipos, Métodos y Preparación de muestra

Tamices granulometría:	Juego estándar según ASTM D6913
Equipo Límite Liquido:	Cazuela manual, ranurador metálico
Equipo Límite Plástico:	Enrollado manual
Granulometría:	Método A (ASTM D6913)
Tipo de muestra:	Bolsa
Método de selección:	Cuarteo
Pulverización:	Manual
Tipo de agua (Límites):	Agua potable

Registro Fotográfico



Lavado Sobre Tamiz No. 200

Tiempo de remojo en agua (hr) =	2
Masa suelo seco antes de lavado (g) =	120.29
Masa suelo seco después de lavado (g) =	30.00
Masa de los finos (g) =	90.29
Porcentaje de finos (%) =	75.1

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	429	128	315
Masa tara (g)	7.75	6.21	6.24
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.28	22.09	22.35
Masa suelo seco + tara (g)	17.88	17.25	17.58

Contenido de agua promedio (%) = 43.1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.00	100
2"	50	0.00	0.00	100
1½"	37.5	0.00	0.00	100
1"	25	0.00	0.00	100
3/4"	19	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	100
No. 4	4.75	0.00	0.00	100
No. 10	2	0.50	0.42	100
No. 20	0.85	1.80	1.50	98
No. 40	0.425	4.40	3.66	94
No. 60	0.25	6.20	5.15	89
No. 100	0.15	7.60	6.32	83
No. 140	0.106	3.90	3.24	80
No. 200	0.075	5.50	4.57	75.1
Fondo	0	0.10	0.08	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	0.0
ARENA (%) =	24.9
FINOS (%) =	75.1
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A.
D_{30} (mm) =	N.A.
D_{60} (mm) =	N.A.

Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	N.A.
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	N.A.

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 38

Tara No.	115	328	52
Masa tara (g)	5.74	7.26	6.12
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.29	17.41	17.31
Masa suelo seco + tara (g)	13.46	14.62	14.09
Contenido de agua (%)	36.66	37.91	40.40
Número de Golpes	35	23	17

Limite Plástico, LP = 24

Tara No.	8	A13	433
Masa tara (g)	6.09	5.97	7.40
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.57	16.26	18.00
Masa suelo seco + tara (g)	14.54	14.25	15.91
Contenido de agua (%)	24.02	24.28	24.56

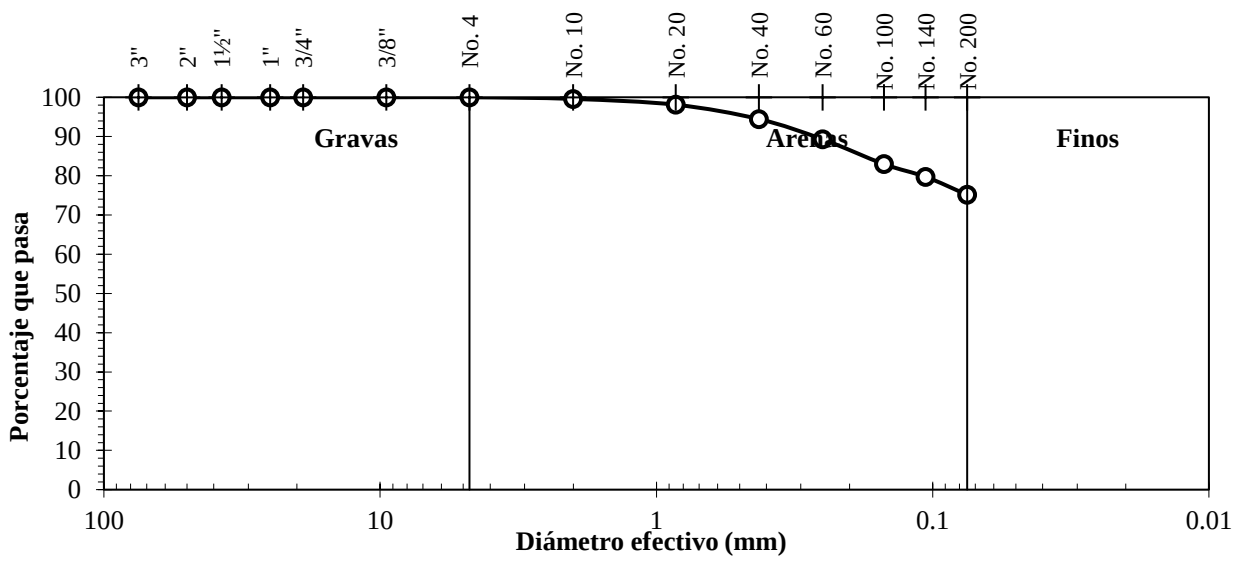
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**CL**

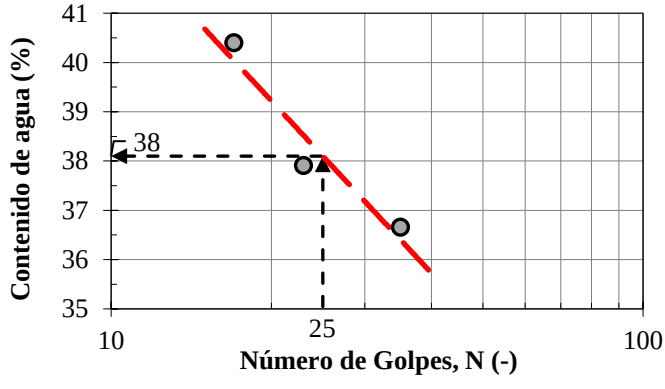
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Curva Granulométrica



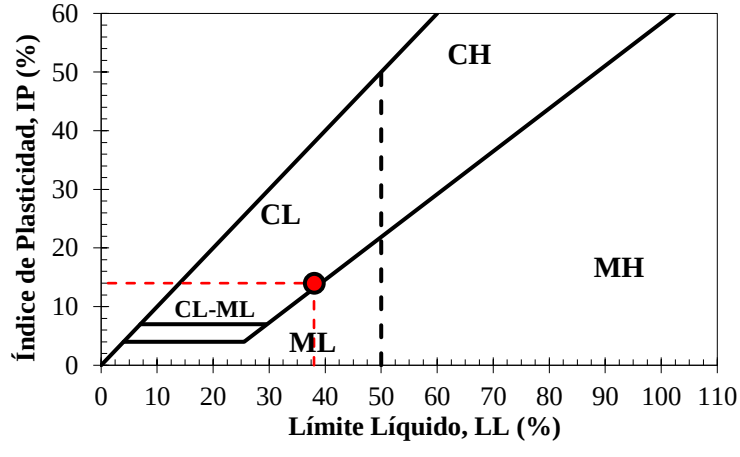
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-5.05
Intercepto =	54.34
Coef. de determinación, R^2 =	0.922
Limite Liquido, LL =	38

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 38
Limite Plástico, LP = 24
Índice de Plasticidad, IP = 14



Notas y Comentarios:

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

CLASIFICACIÓN: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D6913, D1140, D4318)

Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Arena limosa (gris)

Perforación: S4
Muestra: M7
Prof. (m): 6

Equipos, Métodos y Preparación de muestra

Tamices granulometría:	Juego estándar según ASTM D6913
Equipo Límite Liquido:	Cazuela manual, ranurador metálico
Equipo Límite Plástico:	Enrollado manual
Granulometría:	Método A (ASTM D6913)
Tipo de muestra:	Bolsa
Método de selección:	Cuarteo
Pulverización:	Manual
Tipo de agua (Límites):	Agua potable

Registro Fotográfico



Lavado Sobre Tamiz No. 200

Tiempo de remojo en agua (hr) =	2
Masa suelo seco antes de lavado (g) =	150.71
Masa suelo seco después de lavado (g) =	124.80
Masa de los finos (g) =	25.91
Porcentaje de finos (%) =	17.2

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	13X	A44	105
Masa tara (g)	4.30	5.87	5.71
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.65	22.32	22.29
Masa suelo seco + tara (g)	20.05	19.93	20.03

Contenido de agua promedio (%) = 16.4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.00	100
2"	50	0.00	0.00	100
1½"	37.5	0.00	0.00	100
1"	25	0.00	0.00	100
3/4"	19	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	100
No. 4	4.75	21.90	14.53	85
No. 10	2	41.90	27.80	58
No. 20	0.85	27.20	18.05	40
No. 40	0.425	15.10	10.02	30
No. 60	0.25	6.70	4.45	25
No. 100	0.15	5.80	3.85	21
No. 140	0.106	2.70	1.79	20
No. 200	0.075	3.40	2.26	17.3
Fondo	0	0.10	0.07	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	14.5
ARENA (%) =	68.2
FINOS (%) =	17.3
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A.
D_{30} (mm) =	0.43
D_{60} (mm) =	2.30

Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	N.A.
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	N.A.

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 25

Tara No.	118	A36	402
Masa tara (g)	6.03	5.91	7.66
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.96	16.40	18.42
Masa suelo seco + tara (g)	14.81	14.28	16.14
Contenido de agua (%)	24.49	25.33	26.89
Número de Golpes	35	26	14

Limite Plástico, LP = 23

Tara No.	A32	342	93
Masa tara (g)	7.45	5.54	6.06
Masa suelo húmedo + tara (g)	17.79	16.73	16.12
Masa suelo seco + tara (g)	15.87	14.65	14.25
Contenido de agua (%)	22.80	22.83	22.83

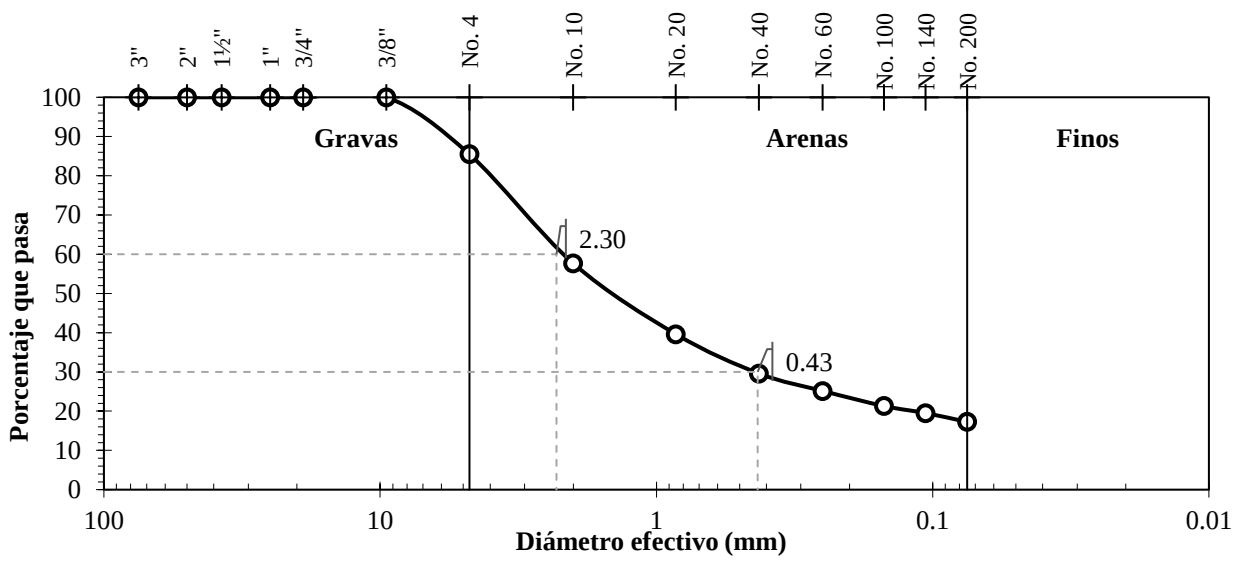
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**SM**

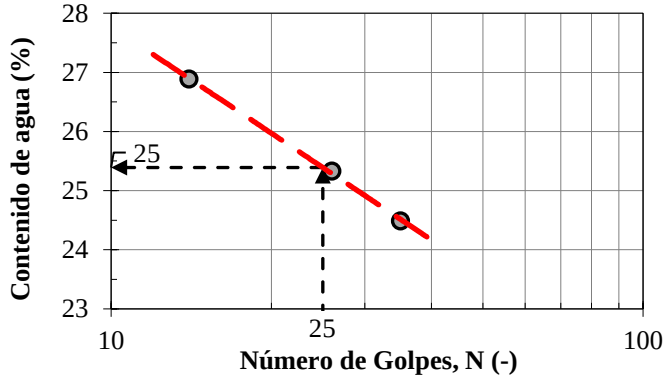
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Curva Granulométrica



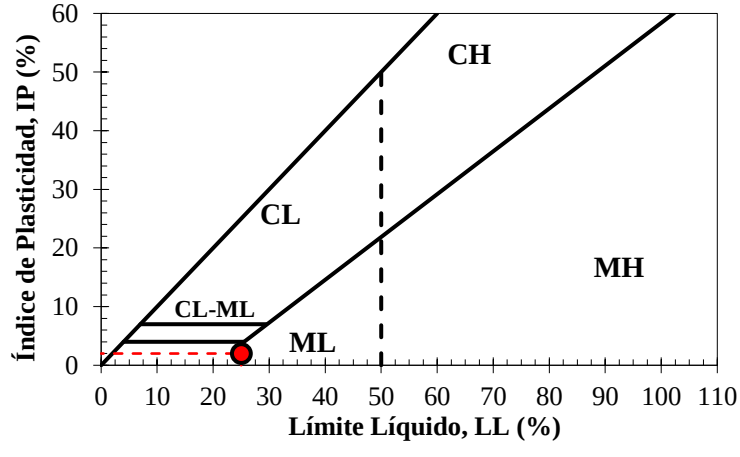
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-2.60
Intercepto =	33.77
Coef. de determinación, R^2 =	0.999
Limite Liquido, LL =	25

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 25
Limite Plástico, LP = 23
Índice de Plasticidad, IP = 2



Notas y Comentarios:

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

CLASIFICACIÓN: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D6913, D1140, D4318)

Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Arena arcillosa con grava (gris)

Perforación: S5
Muestra: M6
Prof. (m): 5

Equipos, Métodos y Preparación de muestra

Tamices granulometría:	Juego estándar según ASTM D6913
Equipo Límite Liquido:	Cazuela manual, ranurador metálico
Equipo Límite Plástico:	Enrollado manual
Granulometría:	Método A (ASTM D6913)
Tipo de muestra:	Bolsa
Método de selección:	Cuarteo
Pulverización:	Manual
Tipo de agua (Límites):	Agua potable

Registro Fotográfico



Lavado Sobre Tamiz No. 200

Tiempo de remojo en agua (hr) =	2
Masa suelo seco antes de lavado (g) =	140.55
Masa suelo seco después de lavado (g) =	112.80
Masa de los finos (g) =	27.75
Porcentaje de finos (%) =	19.7

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	A43	8X	A60
Masa tara (g)	6.05	4.12	5.74
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.30	22.65	22.28
Masa suelo seco + tara (g)	19.80	19.77	19.70

Contenido de agua promedio (%) = 18.4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.00	100
2"	50	0.00	0.00	100
1½"	37.5	0.00	0.00	100
1"	25	0.00	0.00	100
3/4"	19	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	1.40	1.00	99
No. 4	4.75	26.20	18.64	80
No. 10	2	33.00	23.48	57
No. 20	0.85	17.80	12.66	44
No. 40	0.425	15.20	10.81	33
No. 60	0.25	7.40	5.27	28
No. 100	0.15	5.90	4.20	24
No. 140	0.106	2.60	1.85	22
No. 200	0.075	3.30	2.35	19.7
Fondo	0	0.00	0.00	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	19.6
ARENA (%) =	60.6
FINOS (%) =	19.7
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A
D_{30} (mm) =	0.32
D_{60} (mm) =	2.30

Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	N.A
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	N.A

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 29

Tara No.	107	359	389
Masa tara (g)	5.90	6.43	7.77
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.66	17.71	18.08
Masa suelo seco + tara (g)	14.32	15.14	15.65
Contenido de agua (%)	27.79	29.51	30.84
Número de Golpes	33	22	14

Limite Plástico, LP = 21

Tara No.	374	A14	A62
Masa tara (g)	6.61	5.65	5.56
Masa suelo húmedo + tara (g)	17.33	15.78	15.89
Masa suelo seco + tara (g)	15.46	13.99	14.09
Contenido de agua (%)	21.13	21.46	21.10

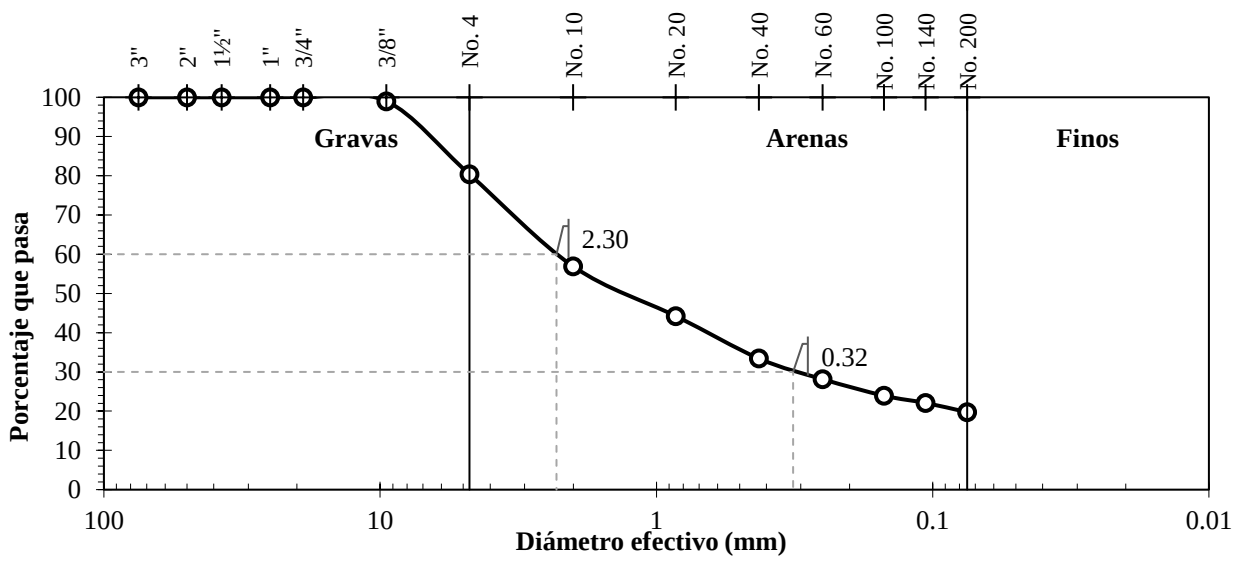
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	SC

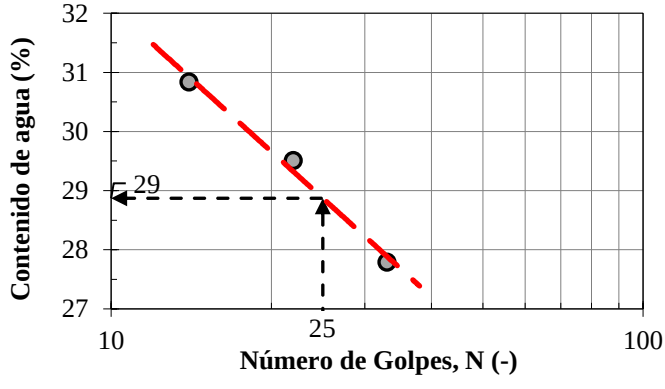
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Curva Granulométrica



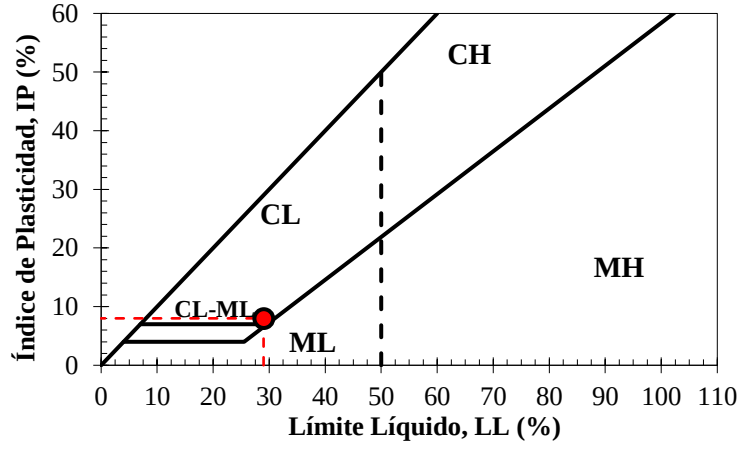
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-3.54
Intercepto =	40.27
Coef. de determinación, R^2 =	0.989
Limite Liquido, LL =	29

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 29
Limite Plástico, LP = 21
Índice de Plasticidad, IP = 8



Notas y Comentarios:

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO (ASTM D3080)

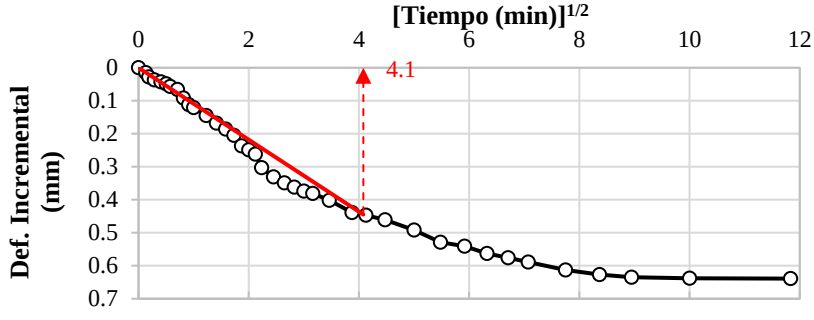
Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Arcilla de baja plasticidad con arena (gris)

Perforación: S4
Muestra: M3
Prof. (m): 2

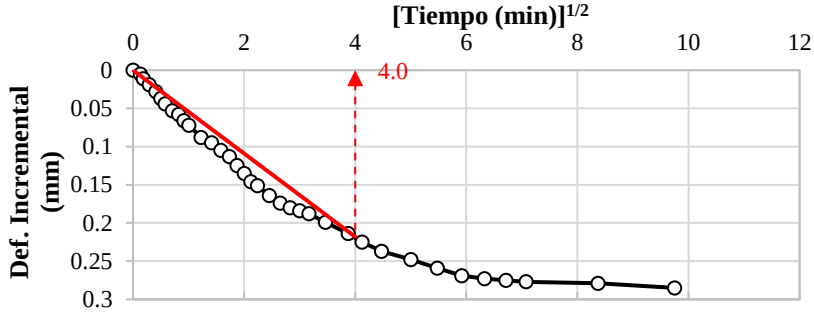
Equipo: GEOTEST S2216 Direct-Residual Shear Apparatus, Computer Controlled
Caja de corte: Circular en bronce (Diámetro = 50 mm, Espesor de espécimen = 25 mm)
Tipo de muestra: Intacta (Tubo Shelby)
Condiciones ambientales: Especímenes reconsolidados y fallados al contenido natural de agua
Esfuerzos normales: 50, 100 y 200 kPa (Re consolidación duplicando los incrementos de carga)
Rata de corte (mm/min): 0.010

Propiedades Índice	Espécimen 1 (200 kPa)		Espécimen 2 (100 kPa)		Espécimen 3 (50 kPa)	
	Inicial	Pre-corte	Inicial	Pre-corte	Inicial	Pre-corte
Contenido de agua, w (%)	34.7	30.8	38.2	35.6	37.1	36.0
Densidad húmeda, ρ_{wet} (Mg/m^3)	1.874	1.924	1.827	1.858	1.842	1.854
Relación de vacíos, e	0.940	0.836	1.042	0.970	1.009	0.981
Grado de saturación, S (%)	99.6	99.5	99.0	99.0	99.3	99.2
Masa de los solidos, M_s (g)	67.84		64.43		65.48	

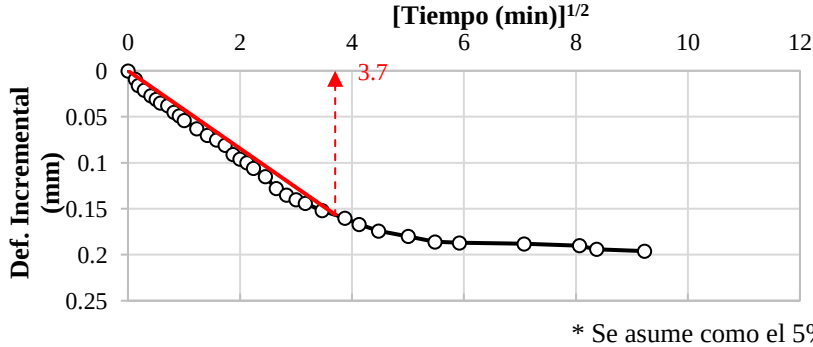
Curvas Deformación vs. Tiempo (último incremento de reconsolidación)



Espécimen 1: 100 a 200 kPa
$(t_{90})^{1/2}$ (min)$^{1/2}$ = 4.1
t_{90} (min) = 16.6464
t_f (min) = 193.10
d_f (mm)* = 2.5
Max. Rata (mm/min) = 0.013



Espécimen 2: 50 a 100 kPa
$(t_{90})^{1/2}$ (min)$^{1/2}$ = 4.0
t_{90} (min) = 16
t_f (min) = 185.60
d_f (mm)* = 2.5
Max. Rata (mm/min) = 0.013



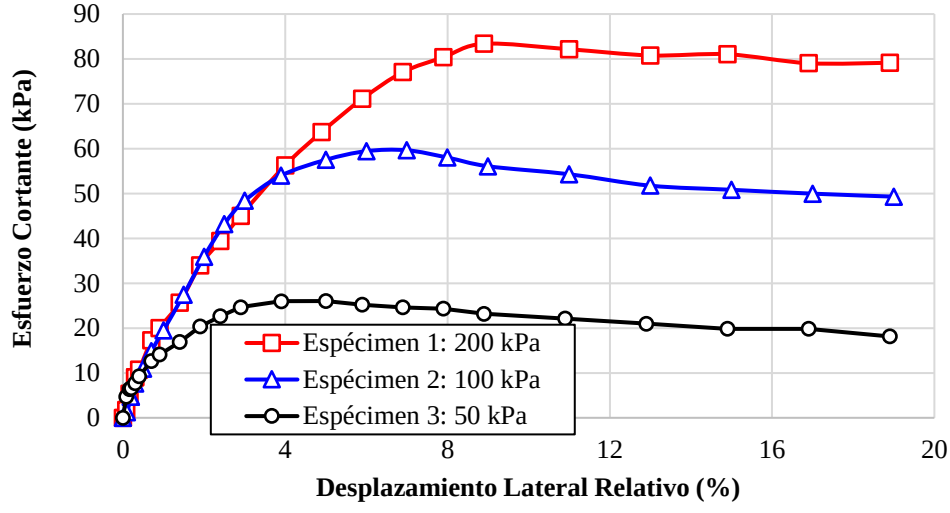
Espécimen 3: 0 a 50 kPa
$(t_{90})^{1/2}$ (min)$^{1/2}$ = 3.7
t_{90} (min) = 13.69
t_f (min) = 158.80
d_f (mm)* = 2.5
Max. Rata (mm/min) = 0.016

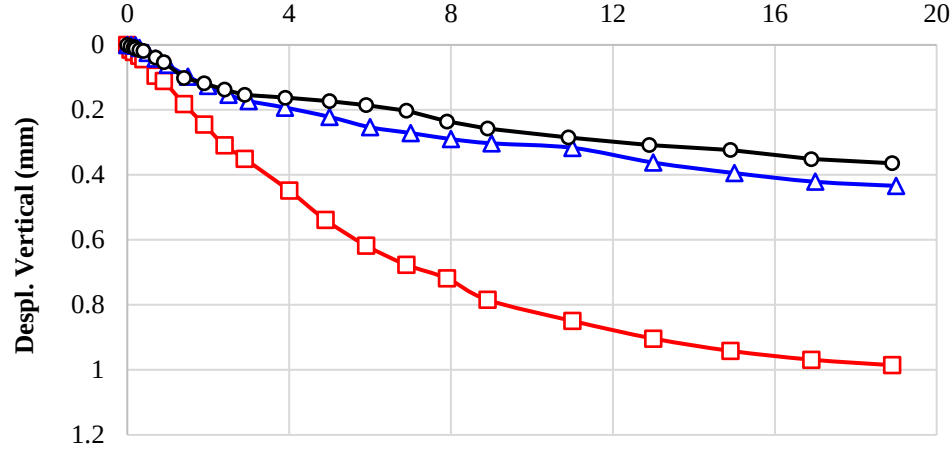
* Se asume como el 5% del desplazamiento horizontal relativo

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Curvas Esfuerzo Cortante y Desplazamiento Vertical vs. Desplazamiento Lateral Relativo



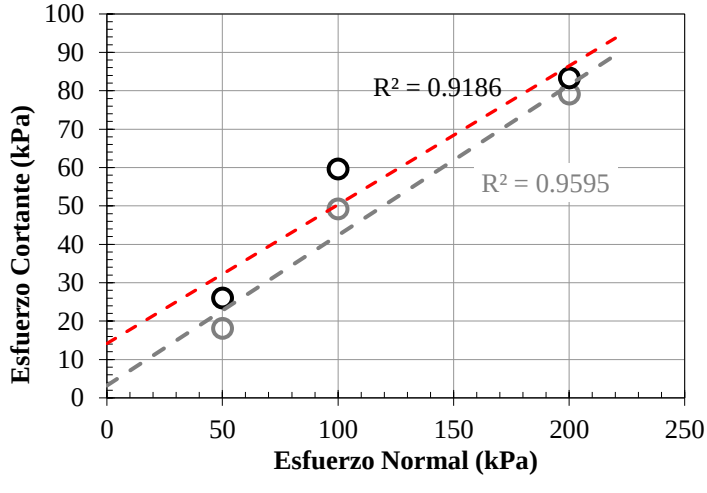


Envolvente de Falla Mohr-Coulomb

Esfuerzos de falla		
σ'_n (kPa)	τ_{max} (kPa)	τ_{res} (kPa)
200	83.4	79.1
100	59.6	49.3
50	26.0	18.1

Intercepto Envolvente
c' (kPa) = 14
c' (kPa) = 3

Angulo de fricción
ϕ'_{peak} (°) = 20
ϕ'_{res} (°) = 21



Nota: Según la norma ASTM D3080, la determinación de la envolvente de falla y los criterios asociados son responsabilidad del ingeniero geotecnista a cargo del proyecto. Los parámetros de resistencia incluidos en este informe deben ser revisados y su aplicabilidad evaluada por el ingeniero a cargo.

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Espécimen	1	2	3
Esfuerzo Normal (kPa)	200	100	50
Tiempo total de reconsolidación (min)	132.3	87.3	35.8
Deformación al final de la reconsolidación (mm)	1.321	0.873	0.355
Máxima rata de corte (mm/min)	0.013	0.013	0.016
Rata de corte empleada (mm/min)	0.010	0.010	0.010

Espécimen 1 (200 kPa)			**Espécimen 2 (100 kPa)**			**Espécimen 3 (50 kPa)**		
Despl. Rel. Lateral (%)	**Despl. Vert. (mm)**	**Esfuerzo Cortante (kPa)**	**Despl. Rel. Lateral (%)**	**Despl. Vert. (mm)**	**Esfuerzo Cortante (kPa)**	**Despl. Rel. Lateral (%)**	**Despl. Vert. (mm)**	**Esfuerzo Cortante (kPa)**
0.00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0	0.00
0.08	0.0144	1.73	0.10	0.001	1.22	0.08	0.0042	4.74
0.16	0.0214	5.40	0.20	0.002	4.74	0.16	0.006	6.37
0.30	0.0327	9.01	0.20	0.002	4.74	0.20	0.0111	6.62
0.30	0.0327	9.01	0.30	0.010	7.64	0.30	0.0151	7.74
0.40	0.0436	10.75	0.50	0.025	10.95	0.40	0.0181	9.27
0.70	0.0951	17.26	0.70	0.042	14.82	0.70	0.0391	12.63
0.90	0.1112	20.02	1.00	0.062	19.51	0.90	0.0532	14.11
1.40	0.1817	25.67	1.50	0.098	27.45	1.40	0.1016	16.91
1.90	0.2453	33.97	2.00	0.127	35.90	1.90	0.1183	20.37
2.40	0.3092	39.42	2.50	0.154	43.19	2.40	0.1374	22.61
2.90	0.3505	45.02	3.00	0.173	48.38	2.90	0.154	24.65
4.00	0.4484	56.28	3.90	0.193	53.98	3.90	0.1625	25.97
4.90	0.5385	63.71	5.00	0.222	57.50	5.00	0.173	26.02
5.90	0.6173	71.10	6.00	0.253	59.43	5.90	0.1855	25.21
6.90	0.6767	77.06	7.00	0.271	59.64	6.90	0.2025	24.60
7.90	0.7182	80.37	8.00	0.290	58.01	7.90	0.2356	24.34
8.90	0.7843	83.37	9.00	0.303	56.07	8.90	0.2574	23.17
11.00	0.8493	82.15	11.00	0.317	54.29	10.90	0.2848	22.10
13.00	0.9035	80.77	13.00	0.362	51.74	12.90	0.3083	20.98
14.90	0.9413	81.03	15.00	0.394	50.83	14.90	0.3236	19.86
16.90	0.9684	79.04	17.00	0.421	49.96	16.90	0.3511	19.86
18.90	0.9854	79.14	19.00	0.434	49.30	18.90	0.3642	18.13

Los datos deformación versus tiempo para cada incremento de reconsolidación pueden ser solicitados en medio digital enviando un correo electrónico a gerencia@lab3axial.com

Registro Fotográfico (Después del ensayo)		
Espécimen 1	**Espécimen 2**	**Espécimen 3**
		
NOTAS		

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

CLASIFICACIÓN: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D6913, D1140, D4318)

Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Arena limosa con grava (gris)

Perforación: S4
Muestra: M5
Prof. (m): 4

Equipos, Métodos y Preparación de muestra

Tamices granulometría: Juego estándar según ASTM D6913
Equipo Límite Liquido: Cazuela manual, ranurador metálico
Equipo Límite Plástico: Enrollado manual
Granulometría: Método A (ASTM D6913)
Tipo de muestra: Bolsa
Método de selección: Cuarteo
Pulverización: Manual
Tipo de agua (Límites): Agua potable

Registro Fotográfico



Lavado Sobre Tamiz No. 200

Tiempo de remojo en agua (hr) = 2
Masa suelo seco antes de lavado (g) = 150.76
Masa suelo seco después de lavado (g) = 129.70
Masa de los finos (g) = 21.06
Porcentaje de finos (%) = 14.0

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	15X	3X	17X
Masa tara (g)	4.22	4.30	4.19
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.95	22.83	22.98
Masa suelo seco + tara (g)	20.90	20.82	20.98

Contenido de agua promedio (%) = 12.1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.00	100
2"	50	0.00	0.00	100
1½"	37.5	0.00	0.00	100
1"	25	0.00	0.00	100
3/4"	19	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	11.70	7.76	92
No. 4	4.75	22.90	15.19	77
No. 10	2	48.50	32.17	45
No. 20	0.85	24.00	15.92	29
No. 40	0.425	9.90	6.57	22
No. 60	0.25	4.90	3.25	19
No. 100	0.15	3.80	2.52	17
No. 140	0.106	1.50	0.99	16
No. 200	0.075	2.40	1.59	14.0
Fondo	0	0.10	0.07	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	23.0
ARENA (%) =	63.0
FINOS (%) =	14.0
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A.
D_{30} (mm) =	0.95
D_{60} (mm) =	3.10

Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	N.A.
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	N.A.

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 25

Tara No.	437	129	382
Masa tara (g)	6.44	5.75	6.66
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.82	17.45	17.69
Masa suelo seco + tara (g)	14.80	15.11	15.40
Contenido de agua (%)	24.16	25.00	26.20
Número de Golpes	34	22	14

Limite Plástico, LP = 21

Tara No.	383	133	441
Masa tara (g)	6.55	5.87	5.07
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.64	16.76	16.31
Masa suelo seco + tara (g)	14.87	14.87	14.35
Contenido de agua (%)	21.27	21.00	21.12

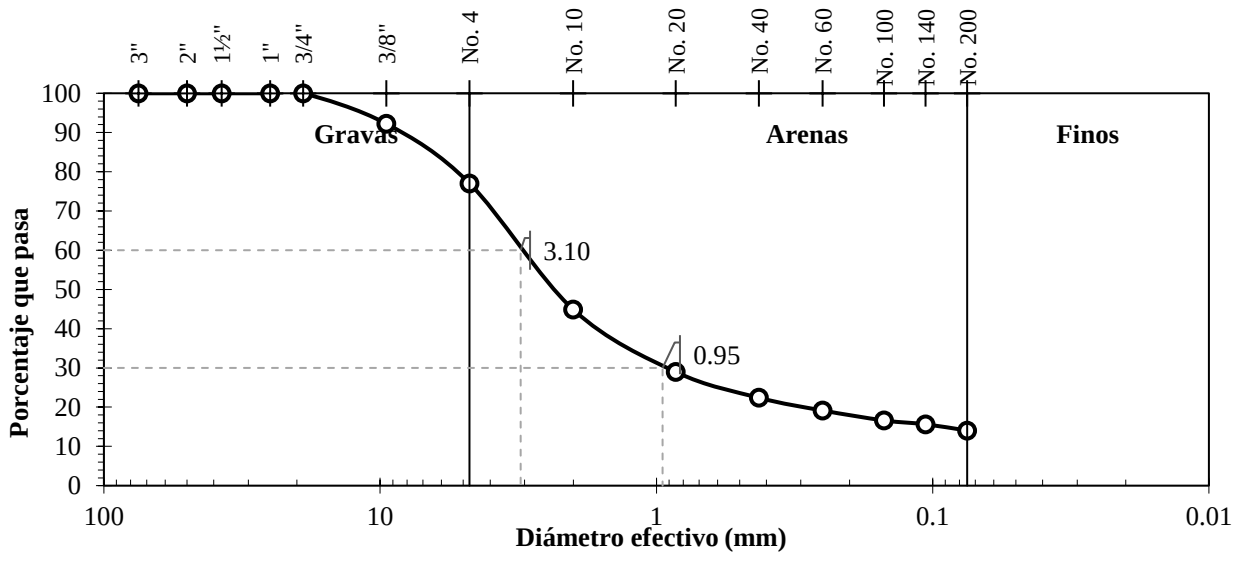
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**SM**

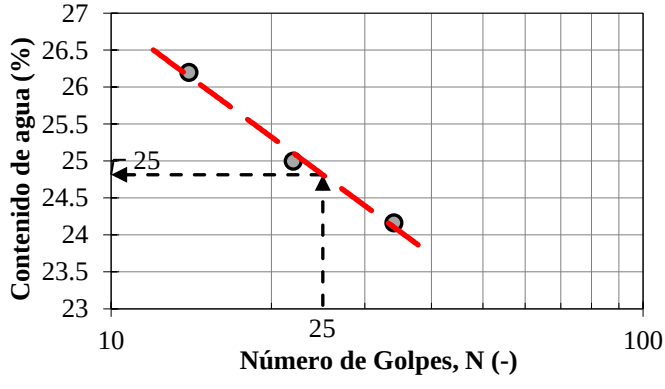
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Curva Granulométrica



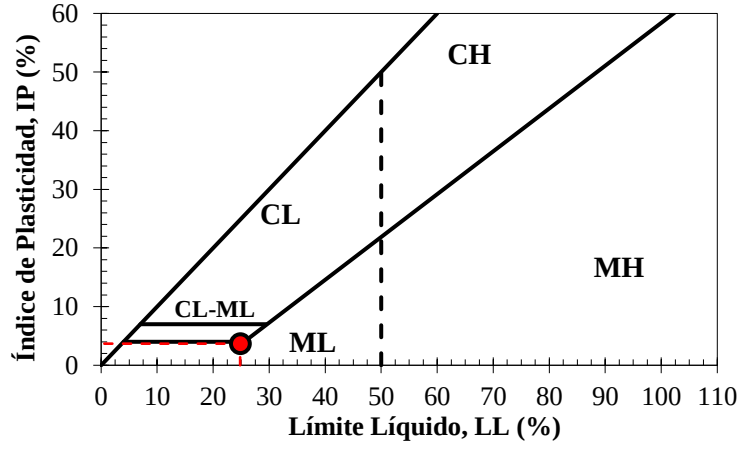
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-2.30
Intercepto =	32.22
Coef. de determinación, R^2 =	0.992
Limite Liquido, LL =	25

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 24.8
Limite Plástico, LP = 21.1
Índice de Plasticidad, IP = 3.7



Notas y Comentarios:

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

CLASIFICACIÓN: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D6913, D1140, D4318)

Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Grava mal gradada con limo y arena (gris)

Perforación: S5
Muestra: M1
Prof. (m): -

Equipos, Métodos y Preparación de muestra

Tamices granulometría:	Juego estándar según ASTM D6913
Equipo Límite Liquido:	Cazuela manual, ranurador metálico
Equipo Límite Plástico:	Enrollado manual
Granulometría:	Método A (ASTM D6913)
Tipo de muestra:	Bolsa
Método de selección:	Cuarteo
Pulverización:	Manual
Tipo de agua (Límites):	Agua potable

Registro Fotográfico



Lavado Sobre Tamiz No. 200

Tiempo de remojo en agua (hr) =	2
Masa suelo seco antes de lavado (g) =	200.47
Masa suelo seco después de lavado (g) =	179.40
Masa de los finos (g) =	21.07
Porcentaje de finos (%) =	10.5

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	A69	101	48
Masa tara (g)	5.94	6.00	5.88
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.21	22.72	22.76
Masa suelo seco + tara (g)	20.48	21.00	20.87

Contenido de agua promedio (%) = 12.0

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.00	100
2"	50	0.00	0.00	100
1½"	37.5	0.00	0.00	100
1"	25	0.00	0.00	100
3/4"	19	72.50	36.17	64
3/8"	9.5	28.60	14.27	50
No. 4	4.75	45.90	22.90	27
No. 10	2	18.30	9.13	18
No. 20	0.85	5.50	2.74	15
No. 40	0.425	3.10	1.55	13
No. 60	0.25	1.80	0.90	12
No. 100	0.15	1.80	0.90	11
No. 140	0.106	0.70	0.35	11
No. 200	0.075	1.10	0.55	10.6
Fondo	0	0.10	0.05	

Resultados Gradación

GRAVA (%) =	73.3
ARENA (%) =	16.1
FINOS (%) =	10.6
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos

D_{10} (mm) =	0.08
D_{30} (mm) =	5.50
D_{60} (mm) =	17.50

Coeficiente de Uniformidad

Cu = 233.3

Coeficiente de Curvatura

Cc = 23.0

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 29

Tara No.	45	50	138
Masa tara (g)	5.84	6.10	5.58
Masa suelo húmedo + tara (g)	15.93	16.44	15.89
Masa suelo seco + tara (g)	13.70	14.10	13.50
Contenido de agua (%)	28.37	29.25	30.18
Número de Golpes	35	24	18

Limite Plástico, LP = 27

Tara No.	19	330	388
Masa tara (g)	5.77	7.59	6.15
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.16	18.35	16.49
Masa suelo seco + tara (g)	13.97	16.11	14.32
Contenido de agua (%)	26.71	26.29	26.56

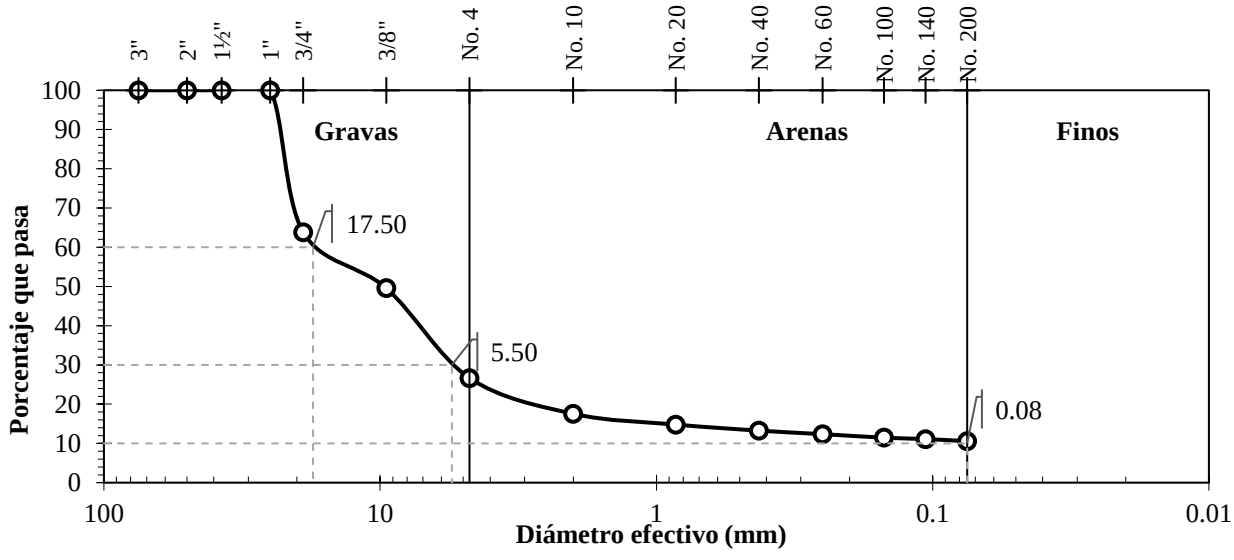
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S. **GP-GM**

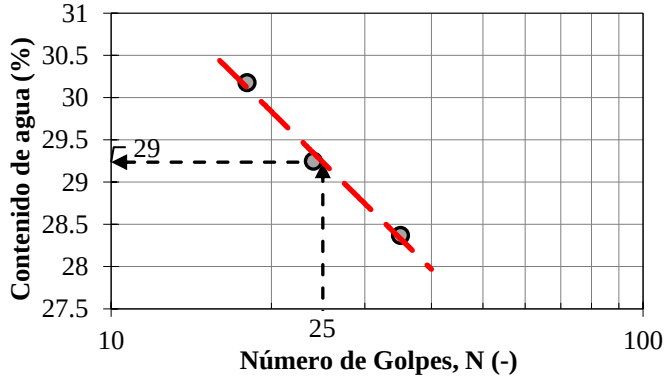
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Curva Granulométrica



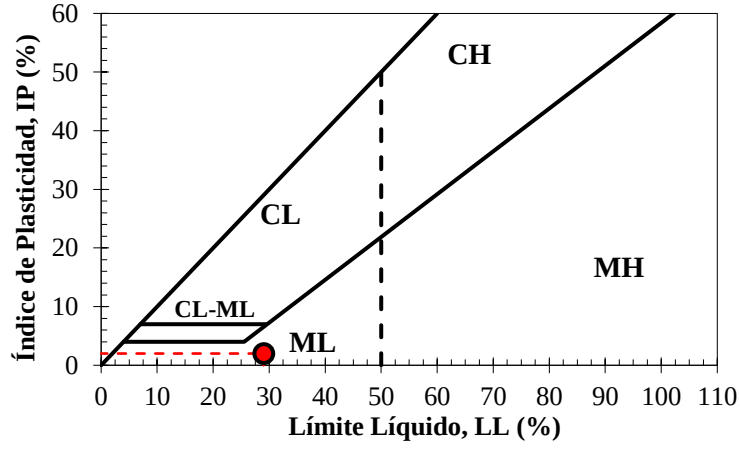
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-2.70
Intercepto =	37.91
Coef. de determinación, R^2 =	0.991
Limite Liquido, LL =	29

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 29
Limite Plástico, LP = 27
Índice de Plasticidad, IP = 2



Notas y Comentarios:

Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

CLASIFICACIÓN: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LIMITES DE ATTERBERG (ASTM D6913, D1140, D4318)

Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S.
Descripción: Arena limosa (gris)

Perforación: S5
Muestra: M4
Prof. (m): 3

Equipos, Métodos y Preparación de muestra

Tamices granulometría:	Juego estándar según ASTM D6913
Equipo Límite Liquido:	Cazuela manual, ranurador metálico
Equipo Límite Plástico:	Enrollado manual
Granulometría:	Método A (ASTM D6913)
Tipo de muestra:	Shelby
Método de selección:	Cuarteo
Pulverización:	Manual
Tipo de agua (Límites):	Agua potable

Registro Fotográfico



Lavado Sobre Tamiz No. 200

Tiempo de remojo en agua (hr) =	2
Masa suelo seco antes de lavado (g) =	120.00
Masa suelo seco después de lavado (g) =	89.80
Masa de los finos (g) =	30.2
Porcentaje de finos (%) =	25.2

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	356	86	20X
Masa tara (g)	6.53	5.41	4.32
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.55	22.85	22.25
Masa suelo seco + tara (g)	19.70	19.57	18.84

Contenido de agua promedio (%) = 22.8

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.00	100
2"	50	0.00	0.00	100
1½"	37.5	0.00	0.00	100
1"	25	0.00	0.00	100
3/4"	19	0.00	0.00	100
3/8"	9.5	0.00	0.00	100
No. 4	4.75	7.10	5.92	94
No. 10	2	30.90	25.75	68
No. 20	0.85	25.80	21.50	47
No. 40	0.425	12.70	10.58	36
No. 60	0.25	4.90	4.08	32
No. 100	0.15	4.30	3.58	29
No. 140	0.106	2.30	1.92	27
No. 200	0.075	1.70	1.42	25.3
Fondo	0	0.10	0.08	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	5.9
ARENA (%) =	68.8
FINOS (%) =	25.3
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A
D_{30} (mm) =	0.20
D_{60} (mm) =	1.50

Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	N.A
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	N.A

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 27

Tara No.	40	A11	32
Masa tara (g)	6.07	6.20	5.66
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.24	17.06	17.03
Masa suelo seco + tara (g)	14.16	14.71	14.51
Contenido de agua (%)	25.71	27.61	28.47
Número de Golpes	30	20	16

Limite Plástico, LP = 23

Tara No.	407	144	373
Masa tara (g)	6.79	5.53	6.70
Masa suelo húmedo + tara (g)	17.76	15.70	17.76
Masa suelo seco + tara (g)	15.71	13.78	15.70
Contenido de agua (%)	22.98	23.27	22.89

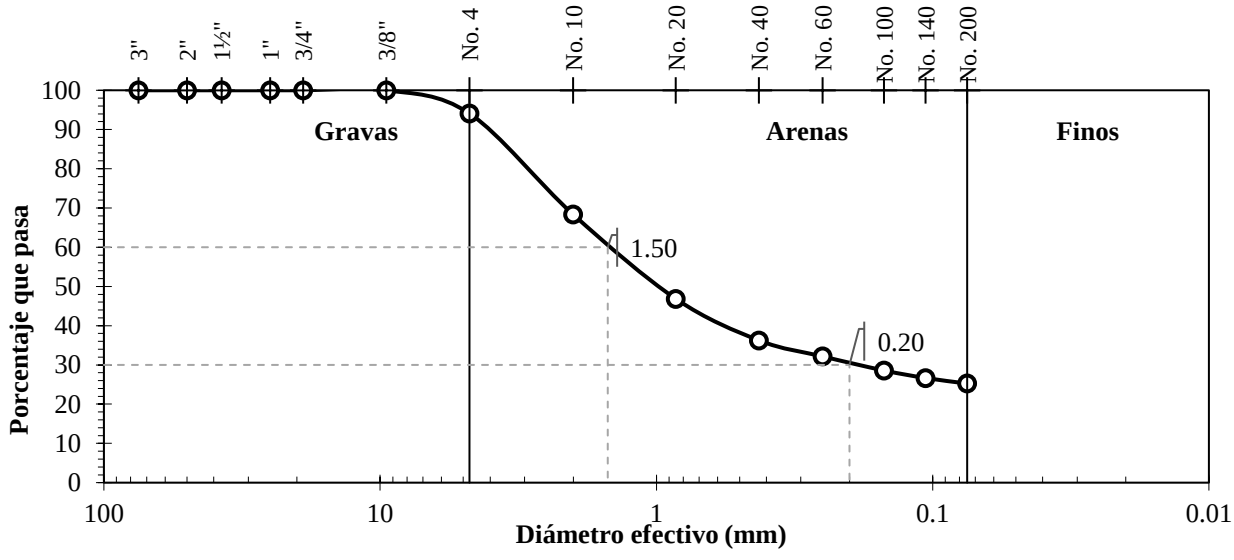
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**SM**

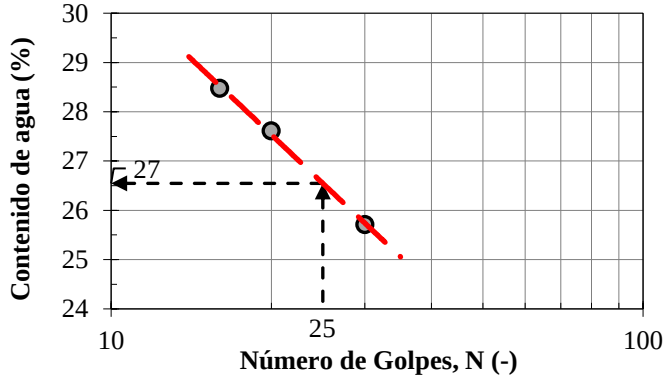
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

Tel: +57(4) 590 1934 / 315 467 9935
gerencia@lab3axial.com
www.lab3axial.com

Curva Granulométrica



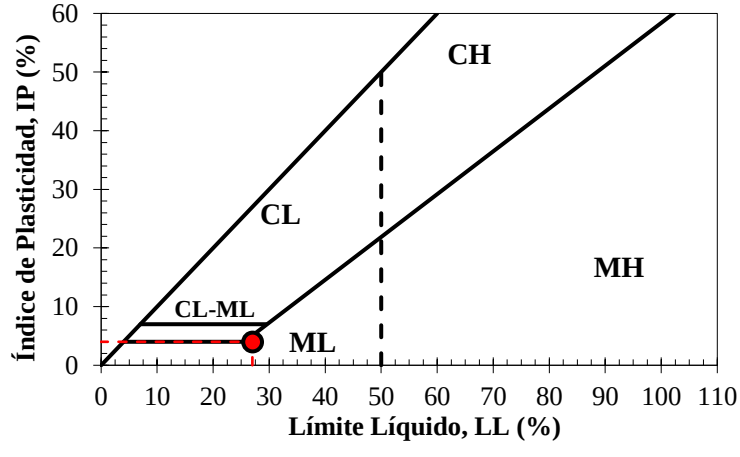
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-4.43
Intercepto =	40.82
Coef. de determinación, R^2 =	0.998
Limite Liquido, LL =	27

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 27
Limite Plástico, LP = 23
Índice de Plasticidad, IP = 4



Notas y Comentarios:

FP Oficina de Arquitectura S.A.S.
NIT 900698287-7

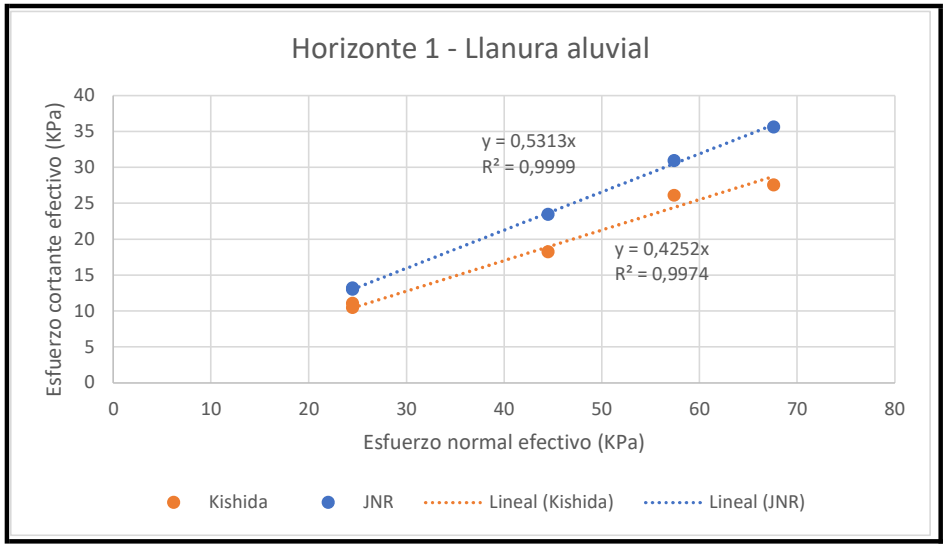
Anexo 3. Correlación con el SPT

Calle 40 # 65-03 interior 203, Edificio Guacarí.
+57(4) 557 78 30
contacto@fparquitectura.com.co
www.fparquitectura.com.co
Medellín – Colombia

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Modelo Geotecnico a partir del SPT: Horizonte 1 - Llanura aluvial - Material limo arenoso

Muestra	Profundidad promedio (m)	N (golpes)	NF (m)	Peso unitario humedo (KN/m3)	Esfuerzo total (kPa)	Presión de poros (kPa)	Esfuerzo efectivo (kPa)	Factores de ajuste			(N1)45 golpes corregidos	φ kishida (°)	φ JNR (°)	τ Kishida (kPa)	τ JNR (kPa)	E (kPa) (Bowles, 1997)
								Cn Seed-Idriss	n1 (45/72)	n2						
S4 - M2	1,225	8	2,5	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	7	24,3	28,3	11,08	13,20	12153
S4 - M4	3,225	12	2,5	20	64,5	7,105	57,40	1,269	0,625	0,75	7	24,4	28,3	26,09	30,95	12257
S5 - M2	1,225	6	2,5	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	5	23,1	28,0	10,44	13,02	10990
S5 - M3	2,225	6	2,5	20	44,5	0	44,50	1,496	0,625	0,75	4	22,3	27,8	18,21	23,45	10305
S5 - M5	4,225	7	2,5	20	84,5	16,905	67,60	1,103	0,625	0,85	4	22,2	27,8	27,53	35,59	10235



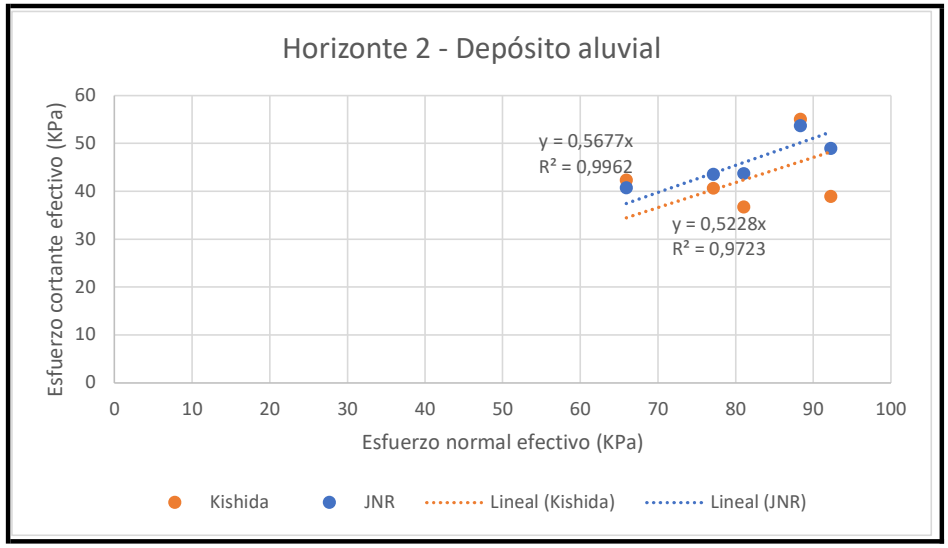
Correlación	φ' (°)
JNR	28,0
Kishida	23,0

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Modelo Geotecnico a partir del SPT: Horizonte 2 - Depósito aluvial - Material areno limoso

Muestra	Profundidad promedio (m)	N (golpes)	NF (m)	Peso unitario humedo (KN/m3)	Esfuerzo total (kPa)	Presión de poros (kPa)	Esfuerzo efectivo (kPa)	Factores de ajuste			(N1)45 golpes corregidos	φ kishida (°)	φ JNR (°)	τ Kishida (kPa)	τ JNR (kPa)	E (kPa) (Bowles, 1997)
								Cn Seed-Idriss	n1 (45/72)	n2						
S4 - M5	4,225	44	1,9	21	88,725	22,785	65,94	1,073	0,625	0,85	25	32,7	31,7	42,35	40,73	24225
S4 - M6	5,225	26	1,9	21	109,725	32,585	77,14	0,943	0,625	0,85	13	27,8	29,4	40,60	43,54	16185
S4 - M7	6,225	46	1,9	21	130,725	42,385	88,34	0,836	0,625	0,95	23	31,9	31,3	54,97	53,67	22721
S5 - M6	5,225	14	2,3	21	109,725	28,665	81,06	0,943	0,625	0,85	7	24,4	28,3	36,71	43,67	12177
S5 - M7	6,225	10	2,3	21	130,725	38,465	92,26	0,836	0,625	0,95	5	22,9	27,9	38,93	48,91	10809



Correlación	φ' (°)
JNR	29,6
Kishida	27,6

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

FP Oficina de Arquitectura S.A.S.
NIT 900698287-7

Anexo 4. Memorias de Cálculo

Calle 40 # 65-03 interior 203, Edificio Guacarí.
+57(4) 557 78 30
contacto@fparquitectura.com.co
www.fparquitectura.com.co
Medellín – Colombia

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Tipo 1 Existente, Ancho Fijo y Largo Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	1,50
c' (KPa)	3,0	L	2,40
Su (Kpa)	0,0	D	1,30
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	18,7		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	1,1		
dw (m)	0,7		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	11204

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,26	1,28
Sq	1,13	1,22
Sy	1,13	0,75
dc	1,25	1,35
dq	1,13	1,27
dy	1,13	1,00
Qult (KPa)	370,85	405,25
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	123,62	135,08

B/L	0,63
D/B	0,87
kp	2,12
k	0,87

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,50
qo (KPa)	171
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,60
α	1,40
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Tipo 1 Existente, Ancho Fijo y Largo Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	1,50
c' (KPa)	3,0	L	2,80
Su (Kpa)	0,0	D	1,30
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	18,7		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	1,1		
dw (m)	0,7		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	11204

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,23	1,24
Sq	1,11	1,19
Sy	1,11	0,79
dc	1,25	1,35
dq	1,13	1,27
dy	1,13	1,00
Qult (KPa)	363,67	396,96
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	121,22	132,32

B/L	0,54
D/B	0,87
kp	2,12
k	0,87

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,50
qo (KPa)	160
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,87
α	1,49
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Tipo 1 Existente, Ancho Fijo y Largo Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	1,50
c' (KPa)	3,0	L	3,20
Su (Kpa)	0,0	D	1,30
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	18,7		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	1,1		
dw (m)	0,7		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	11204

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,20	1,21
Sq	1,10	1,17
Sy	1,10	0,81
dc	1,25	1,35
dq	1,13	1,27
dy	1,13	1,00
Qult (KPa)	358,28	390,74
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	119,43	130,25

B/L	0,47
D/B	0,87
kp	2,12
k	0,87

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,50
qo (KPa)	152
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	2,13
α	1,57
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Tipo 1 Existente, Ancho Fijo y Largo Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	1,50
c' (KPa)	3,0	L	3,65
Su (Kpa)	0,0	D	1,30
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	18,7		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	1,1		
dw (m)	0,7		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	11204

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,17	1,18
Sq	1,09	1,15
Sy	1,09	0,84
dc	1,25	1,35
dq	1,13	1,27
dy	1,13	1,00
Qult (KPa)	353,63	385,38
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	117,88	128,46

B/L	0,41
D/B	0,87
kp	2,12
k	0,87

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,50
qo (KPa)	144
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	2,43
α	1,65
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Nueva, Cuadrada y de Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	1,00
c' (KPa)	3,0	L	1,00
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	18,6		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	0,7		
dw (m)	1,0		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	16807

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,42	1,45
Sq	1,21	1,36
Sy	1,21	0,60
dc	1,29	1,40
dq	1,15	1,32
dy	1,15	1,00
Qult (KPa)	327,69	368,46
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	109,23	122,82

B/L	1,00
D/B	1,00
kp	2,12
k	1,00

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,00
qo (KPa)	318
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,00
α	1,12
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Nueva, Cuadrada y de Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	1,50
c' (KPa)	3,0	L	1,50
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	19,9		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	1,1		
dw (m)	1,0		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	11204

Resultados		
Factores	Meyerhof	Hansen
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,42	1,45
Sq	1,21	1,36
Sy	1,21	0,60
dc	1,19	1,27
dq	1,10	1,21
dy	1,10	1,00
Qult (KPa)	336,58	350,89
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	112,19	116,96

B/L	1,00
D/B	0,67
kp	2,12
k	0,67

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,50
qo (KPa)	212
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,00
α	1,12
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Nueva, Cuadrada y de Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	2,00
c' (KPa)	3,0	L	2,00
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	19,0		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	1,5		
dw (m)	1,0		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	8403

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,42	1,45
Sq	1,21	1,36
Sy	1,21	0,60
dc	1,15	1,20
dq	1,07	1,16
dy	1,07	1,00
Qult (KPa)	345,85	344,78
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	115,28	114,93

B/L	1,00
D/B	0,50
kp	2,12
k	0,50

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	2,00
qo (KPa)	159
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,00
α	1,12
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Nueva, Cuadrada y de Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	2,50
c' (KPa)	3,0	L	2,50
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	18,0		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	1,8		
dw (m)	1,0		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	6723

Resultados		
Factores	Meyerhof	Hansen
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,42	1,45
Sq	1,21	1,36
Sy	1,21	0,60
dc	1,12	1,16
dq	1,06	1,13
dy	1,06	1,00
Qult (KPa)	355,48	343,25
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	118,49	114,42

B/L	1,00
D/B	0,40
kp	2,12
k	0,40

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	2,50
qo (KPa)	127
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,00
α	1,12
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Zapata Nueva, Cuadrada y de Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	21,0	B	3,00
c' (KPa)	3,0	L	3,00
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	17,1		
E (KPa)	12000,0		
μ	0,4		
H (m)	2,2		
dw (m)	1,0		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	5602

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	7,07	7,07
Nc	15,81	15,81
Ny	3,42	3,50
Sc	1,42	1,45
Sq	1,21	1,36
Sy	1,21	0,60
dc	1,10	1,13
dq	1,05	1,11
dy	1,05	1,00
Qult (KPa)	365,37	344,01
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	121,79	114,67

B/L	1,00
D/B	0,33
kp	2,12
k	0,33

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	3,00
qo (KPa)	106
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,00
α	1,12
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Diseño Geotecnico: Micropilote de barra autoperforante TITAN 40/16

Capacidad de carga										
Profundidad (m)		Skin Friction αbond (kPa)	db (mm)	a (mm)	Db (mm)	N (número de micropilotes)	η (eficiencia)	FS	ΔQg (KN)	Qg (KN)
De	a									
0,00	1,00	85,0	40	50	90	1	1	2	0,0	0,0
1,00	2,00	85,0	40	50	90	1	1	2	12,0	12,0
2,00	3,00	85,0	40	50	90	1	1	2	12,0	24,0
3,00	4,00	85,0	40	50	90	1	1	2	12,0	36,0
4,00	5,00	142,5	40	50	90	1	1	2	20,1	56,2
5,00	6,00	142,5	40	50	90	1	1	2	20,1	76,3
6,00	7,00	142,5	40	50	90	1	1	2	20,1	96,5
7,00	7,50	142,5	40	50	90	1	1	2	10,1	106,6

B (m)	1
NF (m)	2,5

Base del dado de cimentación

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Diseño Geotecnico: Micropilote de barra autoperforante TITAN 52/26

Capacidad de carga										
Profundidad (m)		Skin Friction αbond (kPa)	db (mm)	a (mm)	Db (mm)	N (número de micropilotes)	η (eficiencia)	FS	ΔQg (KN)	Qg (KN)
De	a									
0,00	1,00	85,0	52	50	102	1	1	2	0,0	0,0
1,00	2,00	85,0	52	50	102	1	1	2	13,6	13,6
2,00	3,00	85,0	52	50	102	1	1	2	13,6	27,2
3,00	4,00	85,0	52	50	102	1	1	2	13,6	40,9
4,00	5,00	142,5	52	50	102	1	1	2	22,8	63,7
5,00	6,00	142,5	52	50	102	1	1	2	22,8	86,5
6,00	7,00	142,5	52	50	102	1	1	2	22,8	109,4
7,00	7,50	142,5	52	50	102	1	1	2	11,4	120,8

B (m)	1
NF (m)	2,5

Base del dado de cimentación

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Diseño Geotecnico: Micropilote de barra autoperforante TITAN 73/53

Capacidad de carga										
Profundidad (m)		Skin Friction αbond (kPa)	db (mm)	a (mm)	Db (mm)	N (número de micropilotes)	η (eficiencia)	FS	ΔQg (KN)	Qg (KN)
De	a									
0,00	1,00	85,0	73	50	123	1	1	2	0,0	0,0
1,00	2,00	85,0	73	50	123	1	1	2	16,4	16,4
2,00	3,00	85,0	73	50	123	1	1	2	16,4	32,8
3,00	4,00	85,0	73	50	123	1	1	2	16,4	49,3
4,00	5,00	142,5	73	50	123	1	1	2	27,5	76,8
5,00	6,00	142,5	73	50	123	1	1	2	27,5	104,3
6,00	7,00	142,5	73	50	123	1	1	2	27,5	131,9
7,00	7,50	142,5	73	50	123	1	1	2	13,8	145,6

B (m)	1
NF (m)	2,5

Base del dado de cimentación

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Diseño Geotecnico: Pilote de Cimentación

Capacidad de carga														Asentamientos				Módulo de Balasto
Profundidad (m)		Yh (KN/m3)	ϕ (°)	c (Kpa)	E (kPa)	Fuste			Punta				Qad total (KN)					
						β	Qu (KN)	Qad (KN)	Nc Berezantsev	Nq Berezantsev	Qu (KN)	Qad (KN)		s1 (mm)	s2 (mm)	s3 (mm)	S (mm)	Kh (kPa)
De	a																	
0,00	1,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	11,85	5,92	13,10	5,26	163,38	54,46	60,4	0,00	0,98	0,00	0,99	5994
1,00	2,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	36,07	18,04	13,10	5,26	282,31	94,10	112,1	0,01	1,70	0,00	1,71	5994
2,00	3,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	69,64	34,82	13,10	5,26	342,96	114,32	149,1	0,02	2,36	0,00	2,39	5994
3,00	4,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	109,53	54,76	13,10	5,26	403,61	134,54	189,3	0,03	2,78	0,00	2,82	5994
4,00	5,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	155,68	77,84	19,32	9,60	777,66	259,22	337,1	0,08	5,36	0,00	5,44	7633
5,00	6,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	209,66	104,83	19,32	9,60	899,31	299,77	404,6	0,11	6,20	0,00	6,31	7633
6,00	7,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	271,47	135,73	19,32	9,60	1020,95	340,32	476,1	0,15	7,04	0,00	7,19	7633

D (m)	1,2
NF (m)	2

Diametro de la pila de cimentación a lo largo de su

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Diseño Geotecnico: Pilote de Cimentación

Capacidad de carga														Asentamientos				Módulo de Balasto
Profundidad (m)		Yh (KN/m3)	ϕ (°)	c (Kpa)	E (kPa)	Fuste			Punta				Qad total (KN)					
De	a					β	Qu (KN)	Qad (KN)	Nc Berezantsev	Nq Berezantsev	Qu (KN)	Qad (KN)		s1 (mm)	s2 (mm)	s3 (mm)	S (mm)	Kh (kPa)
0,00	1,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	13,82	6,91	13,10	5,26	222,38	74,13	81,0	0,00	1,24	0,00	1,24	5994
1,00	2,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	42,08	21,04	13,10	5,26	384,25	128,08	149,1	0,01	2,14	0,00	2,15	5994
2,00	3,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	81,25	40,63	13,10	5,26	466,81	155,60	196,2	0,02	2,97	0,00	2,99	5994
3,00	4,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	127,78	63,89	13,10	5,26	549,36	183,12	247,0	0,03	3,49	0,00	3,52	5994
4,00	5,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	181,62	90,81	19,32	9,60	1058,48	352,83	443,6	0,08	6,73	0,00	6,80	7633
5,00	6,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	244,60	122,30	19,32	9,60	1224,06	408,02	530,3	0,11	7,78	0,00	7,89	7633
6,00	7,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	316,71	158,36	19,32	9,60	1389,63	463,21	621,6	0,14	8,83	0,00	8,98	7633

D (m)	1,4
NF (m)	2

Diametro de la pila de cimentación a lo largo de su

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Diseño Geotecnico: Pilote de Cimentación

Capacidad de carga														Asentamientos				Módulo de Balasto
Profundidad (m)		Yh (KN/m3)	ϕ (°)	c (Kpa)	E (kPa)	Fuste			Punta				Qad total (KN)					
						β	Qu (KN)	Qad (KN)	Nc Berezantsev	Nq Berezantsev	Qu (KN)	Qad (KN)		s1 (mm)	s2 (mm)	s3 (mm)	S (mm)	Kh (kPa)
De	a																	
0,00	1,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	16,78	8,39	13,10	5,26	327,90	109,30	117,7	0,00	1,63	0,00	1,63	5994
1,00	2,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	51,10	25,55	13,10	5,26	566,58	188,86	214,4	0,01	2,82	0,00	2,83	5994
2,00	3,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	98,66	49,33	13,10	5,26	688,30	229,43	278,8	0,02	3,91	0,00	3,93	5994
3,00	4,00	20,0	21,0	3,0	12000	0,16	155,17	77,58	13,10	5,26	810,03	270,01	347,6	0,03	4,61	0,00	4,64	5994
4,00	5,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	220,54	110,27	19,32	9,60	1560,72	520,24	630,5	0,07	8,88	0,00	8,95	7633
5,00	6,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	297,01	148,51	19,32	9,60	1804,86	601,62	750,1	0,10	10,26	0,00	10,37	7633
6,00	7,00	21,0	27,0	0,0	15000	0,19	384,58	192,29	19,32	9,60	2048,99	683,00	875,3	0,14	11,65	0,00	11,79	7633

D (m)	1,7
NF (m)	2

Diametro de la pila de cimentación a lo largo de su

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Anexo 5. Capacidades de zapatas inspeccionadas.

Calle 40 # 65-03 interior 203, Edificio Guacarí.
+57(4) 557 78 30
contacto@fparquitectura.com.co
www.fparquitectura.com.co
Medellín – Colombia

Anexo 5. Capacidad portante de zapatas inspeccionadas

Para el desarrollo del informe de la “Unidad estructural 6 - Auditorio” se realizaron una serie de inspecciones de las zapatas existentes, las cuales consistieron de las siguientes actividades:

- Realizar un apique en el sitio con el objeto de descubrir la zapata.
- Realizar la medición de las dimensiones de la zapata.
- Sellar el apique realizado.

El registro fotográfico de los apiques realizados es presentado a continuación:

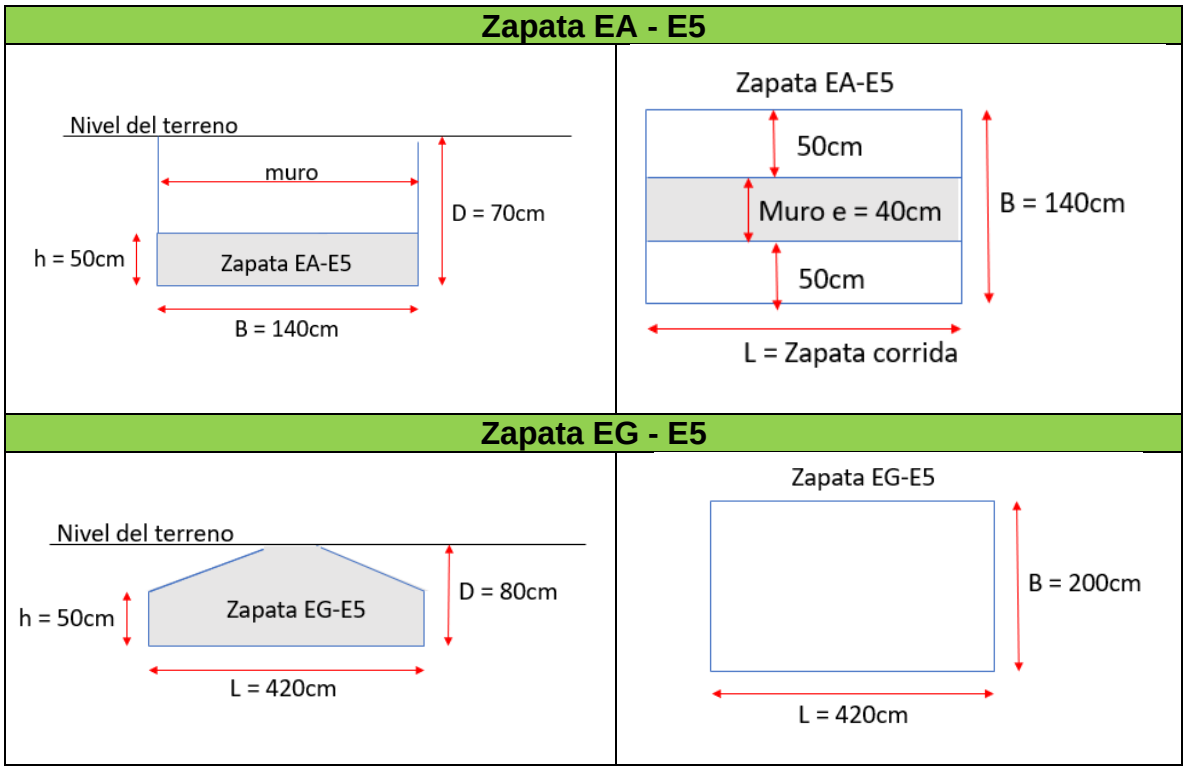
Tabla 1 Registro fotográfico de los apiques

Zapata EA - E5	
	
Zapata EG - E5	
	

Fuente: Bioexplora S.A.S.

Las identificaciones de las zapatas inspeccionadas están ubicadas según el plano “EST.PROY.PAO SCA-A P Ed 4”.
De esta manera, las dimensiones de las zapatas son presentadas en los siguientes esquemas:

Tabla 2 Esquemas de las zapatas inspeccionadas



Fuente: Bioexplora S.A.S.

Para calcular la capacidad portante de las zapatas inspeccionadas en campo, teniendo en cuenta tanto las dimensiones encontradas como los materiales presentes del lugar, se calcula la capacidad portante por resistencia última teniendo en cuenta las metodologías de Meyerhof y Hansen (Bowles, 1982), y se calcula la presión máxima por serviciabilidad limitando los asentamientos a 1”, esto último teniendo en cuenta la metodología descrita en (Das, 1999).

A continuación, se presenta una tabla resumen de los cálculos realizados:

Tabla 3 Resumen de cálculos

Id	B (m)	L (m)	Df (m)	Q_{ad} (kPa)	Kv (kN/m^3)
EA-E5	1.40	Corrida	0.70	93	12000
EG-E5	2.00	4.20	0.80	115	8400

Fuente: Bioexplora S.A.S.

Las memorias de cálculo se presentan a continuación:

Tabla 4 Memorias de cálculo

Análisis Geotécnico: Capacidad de carga de zapata inspeccionada - Zapata EA-E5

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	1,40
c' (KPa)	0,0	L	10,00
Su (Kpa)	0,0	D	0,70
Ym (KN/m3)	18,0		
Ye (KN/m3)	18,0		
E (KPa)	12000		
μ	0,4		
H (m)	1,1		
dw (m)	1,3		
Y' (kN/m3)	8,2		
NF	2,00		
Kv (kN/m3)	12005		

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,07	1,07
Sq	1,04	1,06
Sy	1,04	0,94
dc	1,16	1,20
dq	1,08	1,15
dy	1,08	1,00
Qult (KPa)	279,90	277,37
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	93,30	92,46

B/L	0,14
D/B	0,50
kp	2,56
k	0,50

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,40
qo (KPa)	109
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	7,14
α	2,33
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Análisis Geotécnico: Capacidad de carga de zapata inspeccionada - Zapata EG-E5

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	2,00
c' (KPa)	0,0	L	4,20
Su (Kpa)	0,0	D	0,80
Ym (KN/m3)	18,0		
Ye (KN/m3)	17,4		
E (KPa)	12000		
μ	0,4		
H (m)	1,6		
dw (m)	1,2		
Y' (kN/m3)	8,2		
NF	2,00		
Kv (kN/m3)	8403		

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,24	1,25
Sq	1,12	1,21
Sy	1,12	0,81
dc	1,13	1,16
dq	1,06	1,12
dy	1,06	1,00
Qult (KPa)	369,88	343,50
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	123,29	114,50

B/L	0,48
D/B	0,40
kp	2,56
k	0,40

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	2,00
qo (KPa)	114
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	2,10
α	1,56
S (cm)	2,50

BIOEXPLORA S.A.S.
Calle 9 # 43a-31 Local: 209 Multicentro Aliadas
PBX: (4) 322 02 36
Cel: (57) 314 701 50 84 - 314 679 45 07
Medellín - Colombia
info@bioexplora.com.co
bioexplora.com.co

Fuente: Bioexplora S.A.S.