ARQUITECTURA

PROYECTO PARQUE DE ARTES Y OFICIOS

-PAO-



INFORME ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO
UNIDAD DE ACTUACIÓN URBANISTICA 4 – ARTES

edeso
Empresa de Desarrollo Sostenible

Área Metropolitana Valle de Aburrá

Alcaldía de Bello

Medellín, marzo de 2021

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	

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 8
2.2 METODOLOGÍA 10
3 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA 11
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL 11
3.1.1 Dunita de Medellín (JKUM) 11
3.1.2 Depósitos de vertiente (QvIII, QvIV) 12
3.1.3 Depósitos aluviales (Qal) 13
3.1.4 Depósitos aluviotorrenciales (Qat) 13
3.1.5 Llenos antrópicos (Qll) 13
3.2 GEOLOGÍA LOCAL 15
3.2.1 Depósitos aluviales *(Qal):* 15
3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 19
3.3.1 Geología estructural regional 19
3.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 20
3.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL 22
3.5.1 Análisis morfométrico 23
3.5.2 Subunidades geomorfológicas 28
4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA 30
4.1 EXPLORACIÓN DIRECTA 30
4.2 EXPLORACIÓN INDIRECTA 32
4.2.1 Generalidades 32
4.2.2 Metodología 34
4.2.3 Procesamiento de datos 40
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
4.3.4 Horizonte 3 – Depósito aluvial 48
4.3.5 Horizonte 4 – Depósito aluvial 48
4.4 CONSISTENCIA Y CONTINUIDAD DE LOS ESTRATOS 49
4.5 NIVEL FREÁTICO 51
4.6 RESULTADOS DE LABORATORIO 51

4.7 CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DE SUELO DE ACUERDO CON LA NSR-10 54
5 MODELO GEOTÉCNICO 57
5.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DEL SUELO 57
5.2 PERFIL GEOLÓGICO GEOTECNICO Y PARÁMETROS GEOMECÁNICOS PROPUESTOS 58
6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIONES 59
6.1 SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS 59
6.2 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZAPATAS EXISTENTE 60
6.3 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZAPATAS DE LA NUEVA ESTRUCTURA 63
6.4 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE MICROPILOTES 65
7 DISEÑO GEOTÉCNICO DEL MURO DE CONTENCIÓN 71
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 73
8.1 EVALUACIÓN DE LAS CIMENTACIONES 73
8.1.1 Cimentaciones superficiales existentes 73
8.1.2 Cimentaciones superficiales proyectadas 73
8.1.3 Cimentaciones profundas – micropilotes 73
8.1.4 Afectación por vegetación presente 73
8.2 Muro de contención 74
8.3 PARÁMETROS SÍSMICOS 74
8.4 RECOMENDACIONES PARA CIMENTACIONES SUPERFICIALES 74
8.5 RECOMENDACIONES PARA MICROPILOTES 75
8.6 CONTROLES Y VERIFICACIÓN 75
9 LIMITACIONES 76
10 BIBLIOGRAFÍA 77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localización del Proyecto 9
Figura 2. Mapa de Unidades Geológicas Regionales. 14
Figura 3. Mapa de Unidades Geológicas Locales. 18
Figura 4. Mapa de Unidades Geomorfológicas Regional. 22
Figura 5. Histograma de Elevación. 23
Figura 6. Mapa de Elevaciones. 24
Figura 7. Histograma de Pendientes. 26

Figura 8. Mapa de Pendientes. 27
Figura 9. Mapa de subunidades geomorfológicas. 29
Figura 10 Ubicación de los sondeos 30
Figura 11 Mapa de exploración Indirecta. 33
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. 36
Figura 13. Sismógrafo Terralock Pro de 24 Canales. 37
Figura 14 Línea de refracción sísmica - 02. 41
Figura 15 Línea de refracción sísmica - 03. 41
Figura 16 Línea de refracción sísmica - 04. 42
Figura 17 Interpretación línea sísmica - 02. 44
Figura 18 Interpretación línea sísmica - 03. 44
Figura 19 Interpretación línea sísmica - 04. 45
Figura 20 Disposición de las unidades estratigráficas en cada una de las perforaciones 46
Figura 21 Variación del número de (N) con la profundidad 50
Figura 22 Propiedades índice y análisis granulométrico 53
Figura 23 Potencial de expansión 53
Figura 24 Espectro de Aceleraciones. (Se considera Importancia de grupo de uso III) 56
Figura 25 Detalle de zapata tipo 1 59
Figura 26 Esquema de repotenciación con micropilotes 60
Figura 27 Metodología de Hansen y Meyerhof. 61
Figura 28 Valores de α para el cálculo de asentamientos elásticos 62
Figura 29 Capacidad de carga de las zapatas 63
Figura 30 Capacidad de carga de las zapatas para la nueva estructura 64
Figura 31 Modulo de balasto para las zapatas para la nueva estructura 64
Figura 32 Factor empírico de ensanchamiento del micropilote 67
Figura 33 Evaluación de la capacidad de carga para grupos de micropilotes 69
Figura 34 Capacidad de carga para micropilotes individuales 69
Figura 35 Esquema del muro 71
Figura 36 Presiones sobre muro 72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Perfil de meteorización de la Dunita de Medellín. 12
Tabla 2. Rangos de pendiente para clasificación geomorfológica. 25
Tabla 3 Registro fotográfico de la exploración directa realizada en la zona de estudio 31
Tabla 4 Profundidad, posición y medida del nivel freático de los sondeos directos realizados 32
Tabla 5 Coordenadas de ubicación de la línea de Refracción sísmica. 34
Tabla 6 Propiedades del suelo a partir del ensayo SPT. 49
Tabla 7 Medida del nivel freático de los sondeos directos realizados 51
Tabla 8 Clasificación de suelos expansivos (Tabla H.9.1-1 de la NSR-10) 51
Tabla 9 Resultados de laboratorio de clasificación 52
Tabla 10 Ensayos de laboratorio de resistencia 54
Tabla 11 Clasificación del perfil de suelo según la NSR 10. 55
Tabla 12 Coeficiente de amplificación horizontal NSR-10. 55
Tabla 13 Coeficiente de amplificación vertical NSR-10. 55
Tabla 14 Parámetros geomecánicos de los materiales para diseño 58
Tabla 15 Resistencia suelo - micropilote (fuste) última 66
Tabla 16 Diámetro de la barra autoperforante 66

Tabla 17 Factor de eficiencia *68*
Tabla 18 Evaluación de los grupos de micropilotes *68*
Tabla 19 Separación mínima entre micropilotes *70*
Tabla 20 Clasificación sísmica del sitio según NSR 10. ..... *74*

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.Muestra de lleno antrópico, sondeo 11 - SPT. *16*
Fotografía 2. Muestra de Depósito aluvial fino granular (limo – arenoso), sondeo 9 – SPT. *16*
Fotografía 3. Muestra de Depósito aluvial fino granular (arcillo – arenoso), sondeo 7 y 9 – SPT. *17*
Fotografía 4. Muestra de Depósito aluvial de arena, sondeo 2 – SPT. *17*
Fotografía 5. Muestra de Depósito aluvial matriz soportado, sondeo 11 – SPT. *17*
Fotografía 6 Registros fotográficos de las líneas sísmicas realizadas. *38*
Fotografía 7 Lleno antrópico *47*
Fotografía 8 Horizonte 1 - Llanura de inundación *47*
Fotografía 9 Horizonte 2 - Depósito aluvial *48*
Fotografía 10 Horizonte 3 - Depósito aluvial *48*
Fotografía 11 Horizonte 4 - Depósito aluvial *49*

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 "Artes"* 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 nueve (9) sondeos exploratorios, de los cuales seis (6) son correspondientes a perforaciones directas por el método de roto-percusión con recuperación de muestras, y los últimos tres (3) corresponden a líneas de refracción sísmica.

2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio del edificio proyectado como *Artes* dentro del proyecto PAO presenta una morfología intervenida antrópicamente con explanaciones, edificaciones y adecuaciones pertenecientes a los Antiguos Talleres del Ferrocarril de Antioquia, con la característica especial de que la estructura a analizar posee un sótano de 3.00 metros de profundidad. Además, se identifican las características naturales del ambiente fluvial del terreno, con la presencia de depósitos aluviales fino granulares 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 la 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.

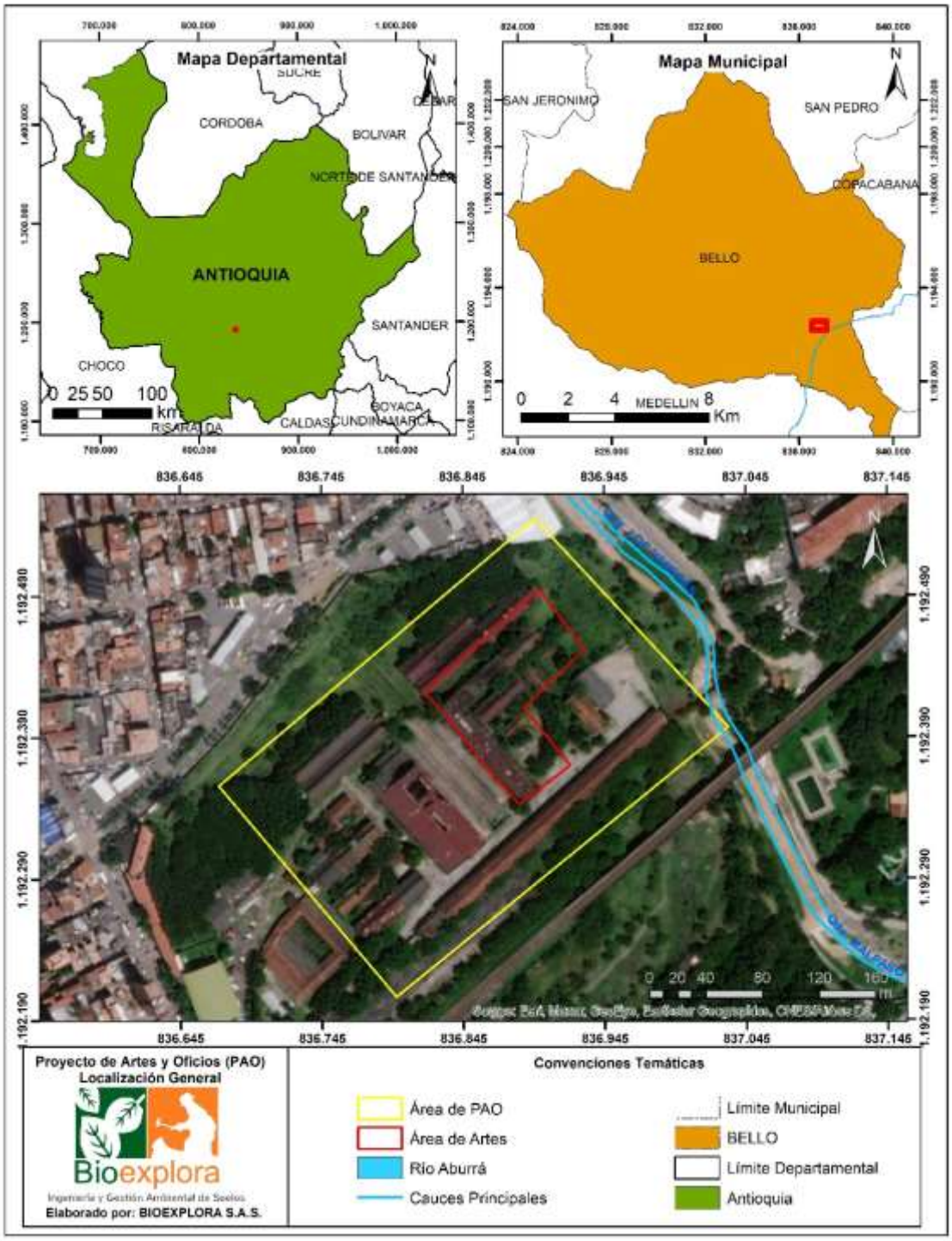
El área de estudio presenta elevaciones desde los 1416 msnm hasta los 1424 msnm, junto con la antigua infraestructura de la edificación que allí se encuentra.

2.1 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio que abarca el área comprendida por el edificio proyectado como *Artes* 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°33'6.61"Oy **Y:** 6°20'2.75"N (Sistema de coordenadas WGS-84).

Figura 1. Mapa de Localización del Proyecto



Fuente: Bioexplora S.A.S.

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 nueve (9) sondeos exploratorios, de los cuales seis (6) son correspondientes a perforaciones directas por el método de roto-percusión con recuperación de muestras, y los últimos tres (3) corresponden a líneas de refracción sísmica.

- *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 1* se presenta el perfil de meteorización típico para esta unidad.

Tabla 1. 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.

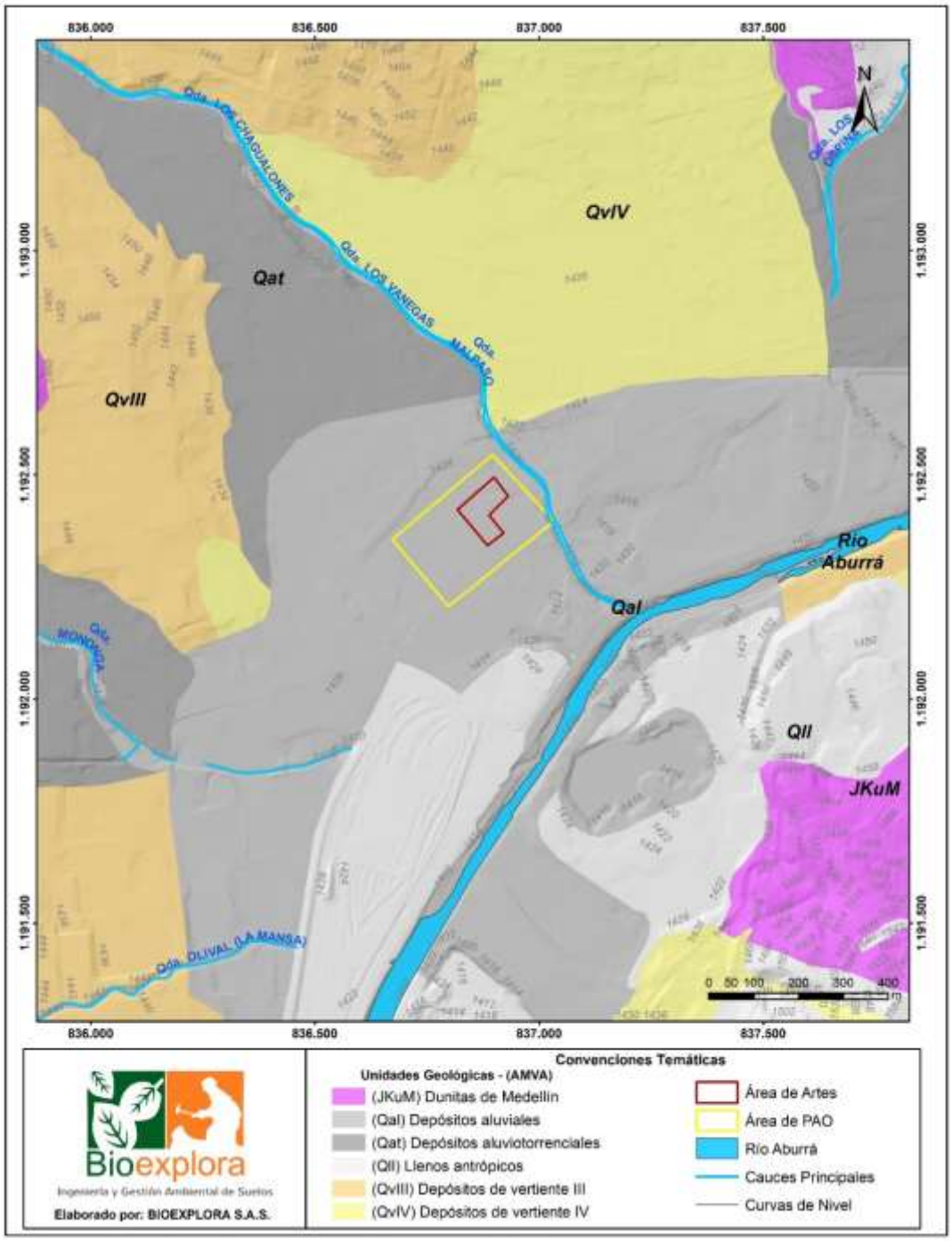
Estos depósitos se conforman por grandes bloques de roca de diversas composiciones, con poca matriz de granulometría arenosa, sin clasificación ni selección, con bloques redondeados a subredondeados de tamaños hasta 3 metros. Debido a su alta permeabilidad, exhiben un grado de meteorización moderado, 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 observaron los siguientes estratos de materiales:

Primeramente, 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).

Fotografía 1.Muestra de lleno antrópico, sondeo 11 - SPT.



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

La Llanura de inundación - *depósito aluvial finogranular* se encuentra conformada entre los 0 a 4 m de profundidad por un material limoso a limo arenoso (arena fina a media) compuesto principalmente de matriz finogranular (limo) con coloración café oscura a parda naranjada, plasticidad media, humedad alta y de consistencia media (Fotografía 2).

Fotografía 2. Muestra de Depósito aluvial fino granular (limo – arenoso), sondeo 9 – SPT.



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

Entre los 4 a 6 metros de profundidad de la llanura de inundación se evidencia un *depósito aluvial finogranular* conformado por un material arcilloso a arcillo - arenoso (arena fina) compuesto principalmente de matriz finogranular (arcilla), color gris verdosa, plasticidad muy alta, humedad media y Consistencia rígida (*Fotografía 3*).

Fotografía 3. Muestra de Depósito aluvial fino granular (arcillo – arenoso), sondeo 7 y 9 – SPT.



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

Entre los 6 a 7.50 metros de profundidad de la llanura de inundación se encuentra un *depósito aluvial de arena* conformado por material arenoso (arena fina a media), compuesto principalmente de matriz finogranular (limo - arena fina) con presencia de pequeños fragmentos líticos moderadamente meteorizados y detritos de filosilicatos (micas) (Fotografía 4).

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



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

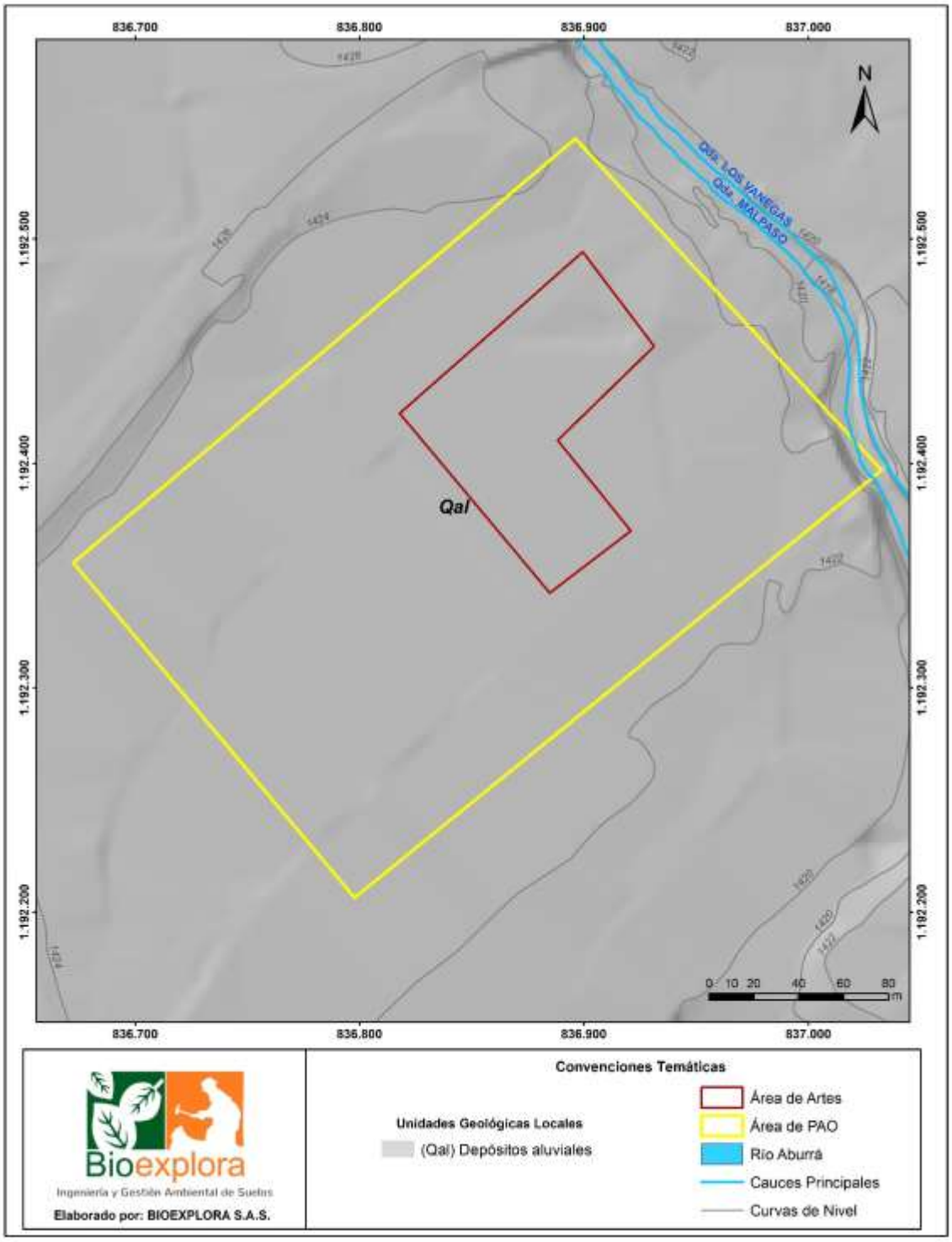
De los 7.50 metros hasta la profundidad explorada se encuentra un *depósito aluvial* Este depósito presenta una fracción matriz-fragmentos líticos de 90 / 10%, color gris y fragmentos líticos menores a 10 cm diámetro (Fotografía 5).

Fotografía 5. Muestra de Depósito aluvial matriz soportado, sondeo 11 – 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.

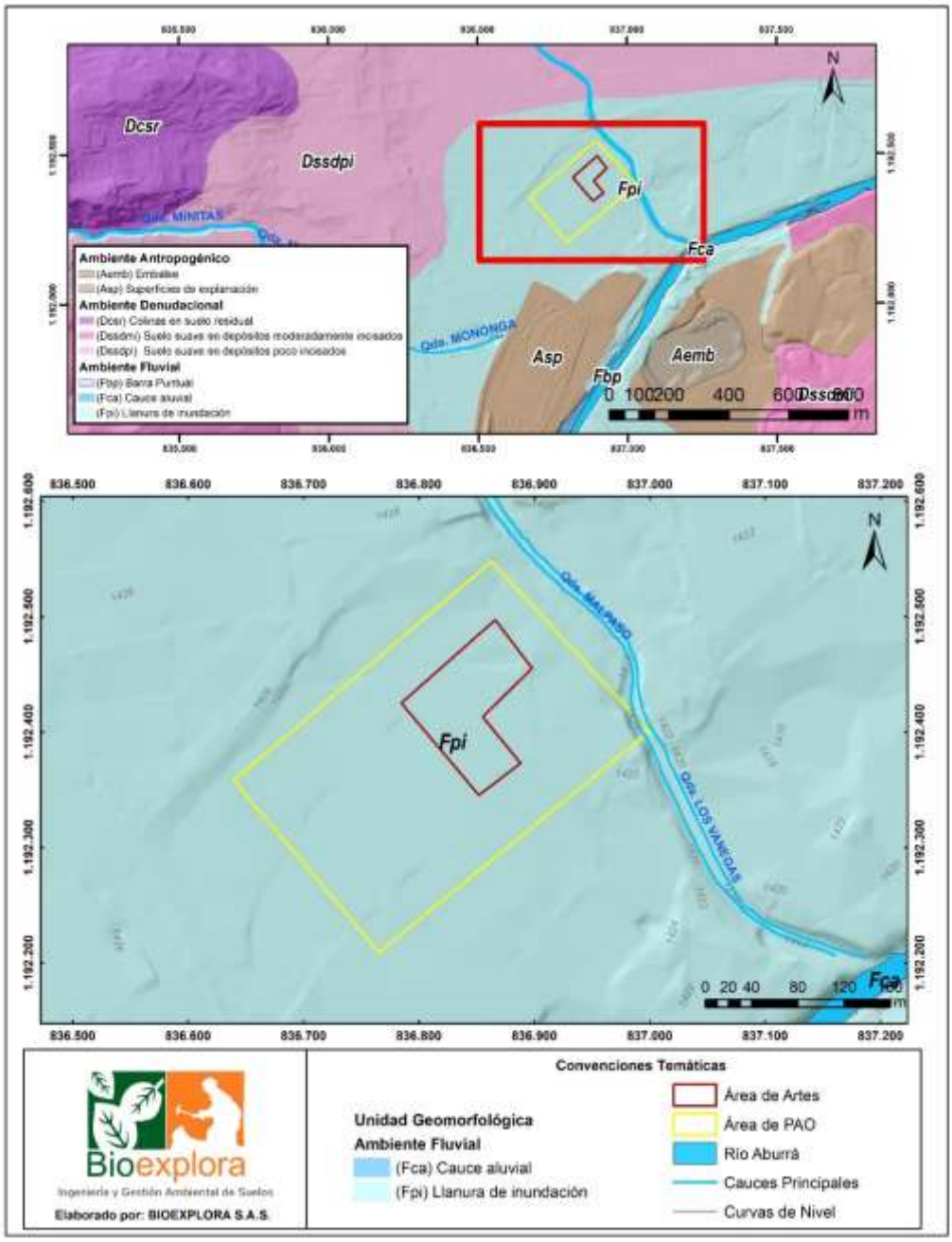
- ***Ambiente Fluvial:***

  - **(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.

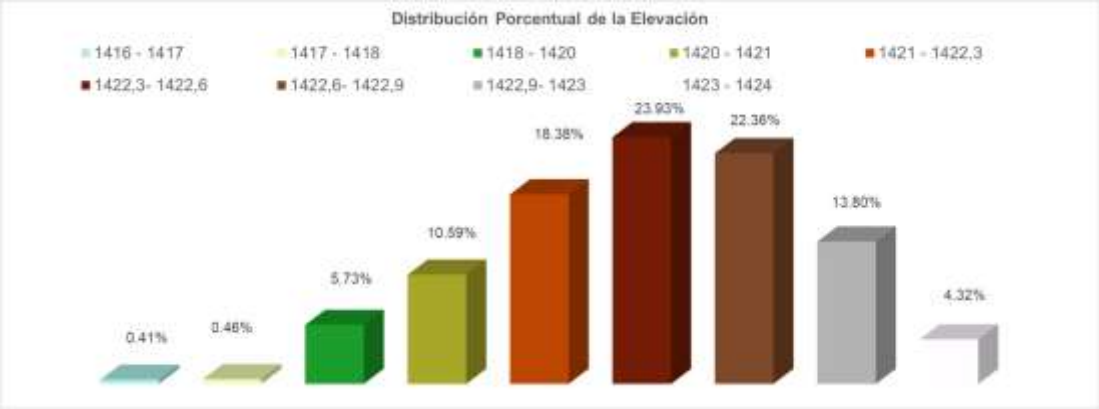
Para el análisis de los parámetros morfométricos del área de estudio se implementó el modelo de elevación (*MED*) realizado y adecuado a partir de información secundaria.

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.

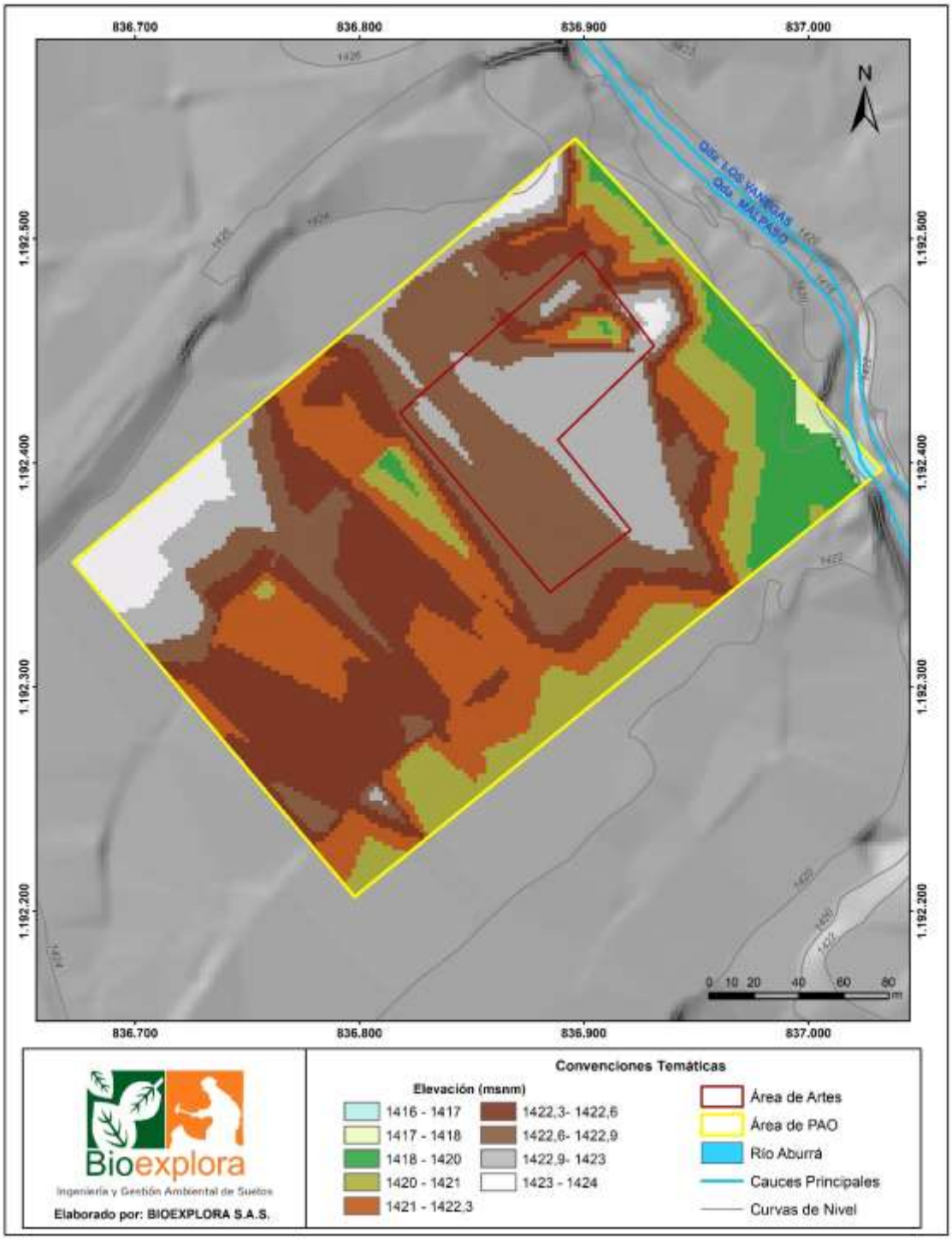
La distribución altitudinal presenta un comportamiento unimodal con aumento de las áreas en las elevaciones desde 1421 msnm hasta 1422,9 msnm. Además de una disminución entre los rangos 1416 -1417 msnm a 1420 - 1421 msnm y desde los rangos 1422,9 – 1423 msnm a 1423- 1424 msnm. (*Figura* 6).

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 2*).

Tabla 2. 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.

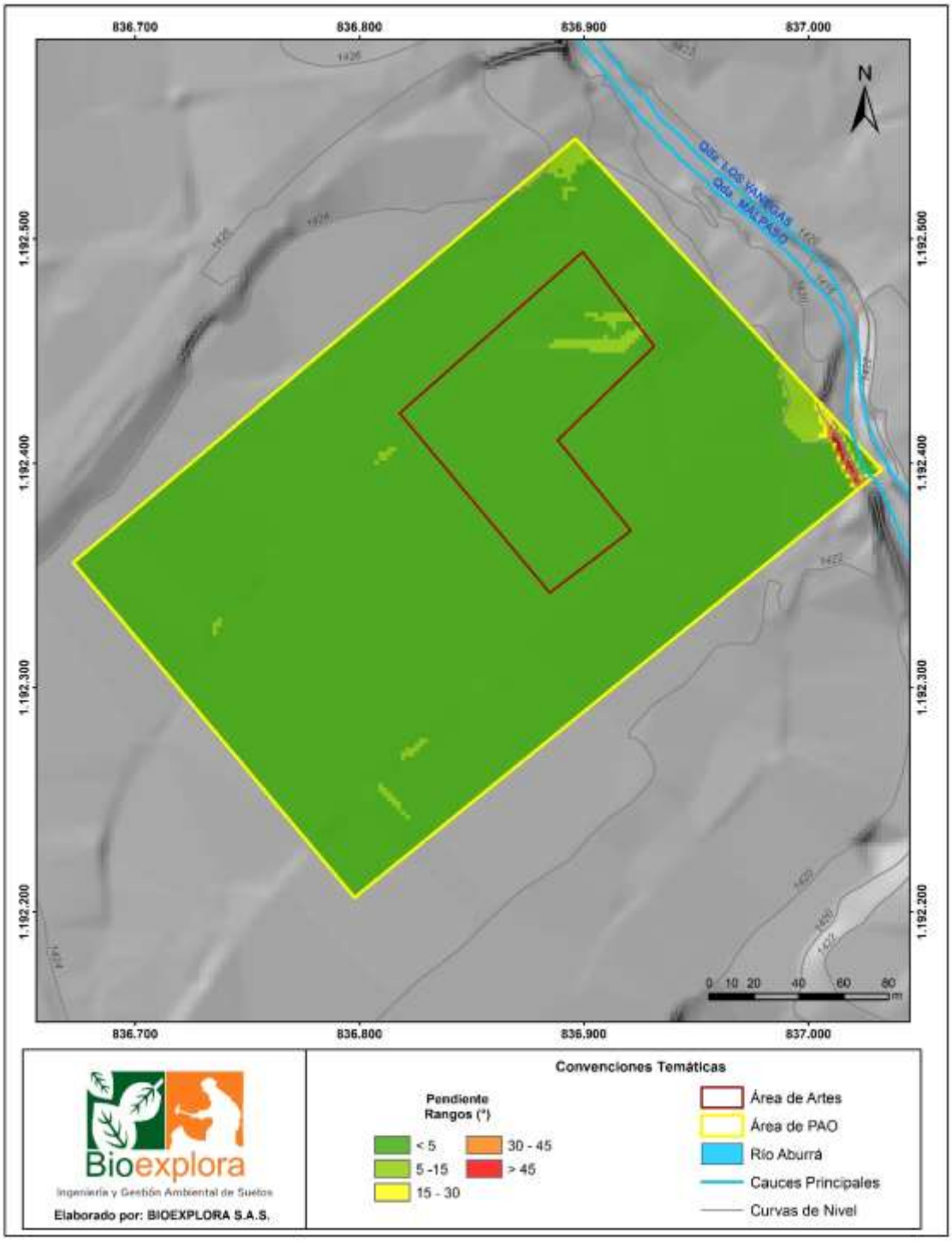


Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

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*

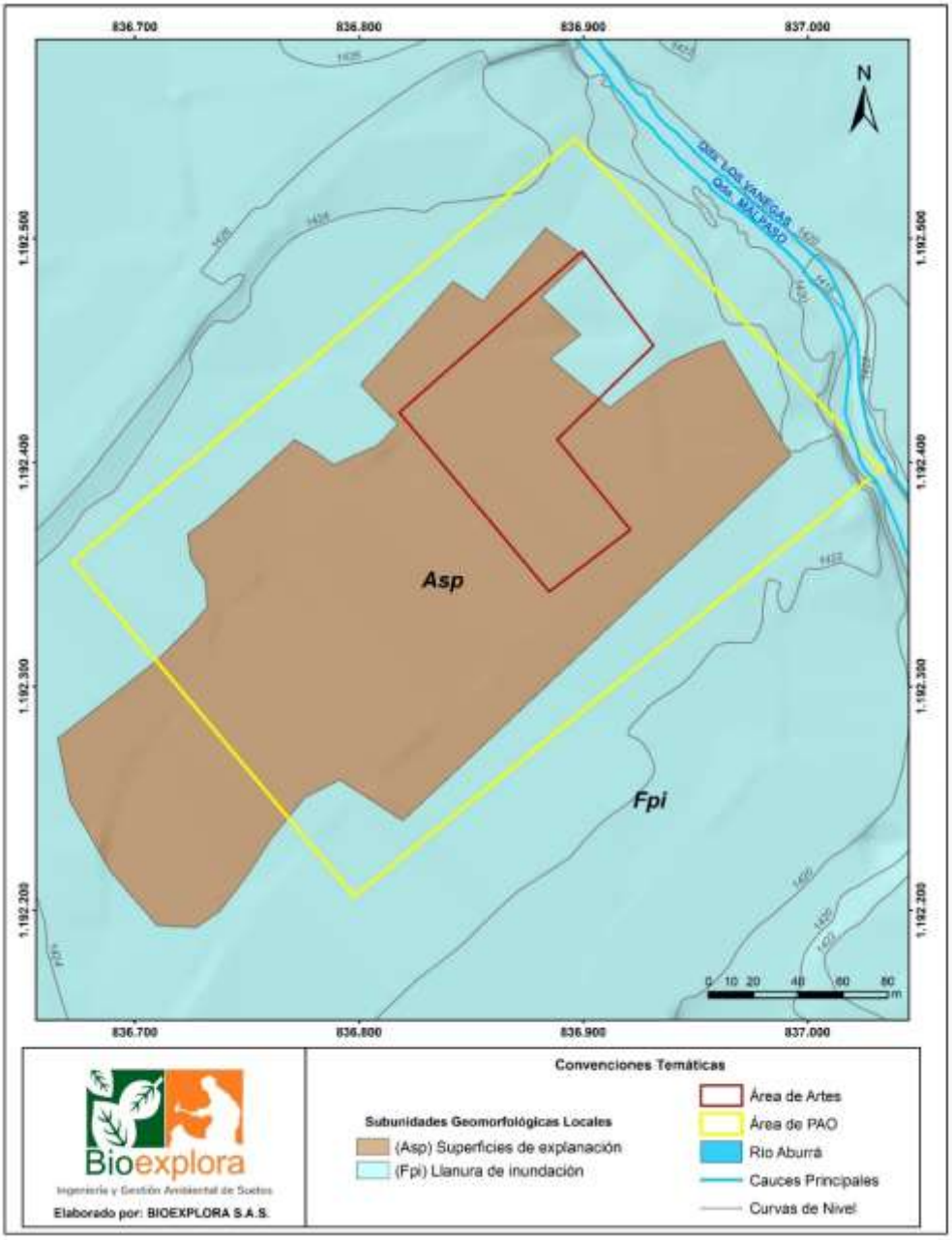
Estas geoformas se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos, acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas, tanto en episodios de grandes avenidas torrenciales e inundaciones, como en durante la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. 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.



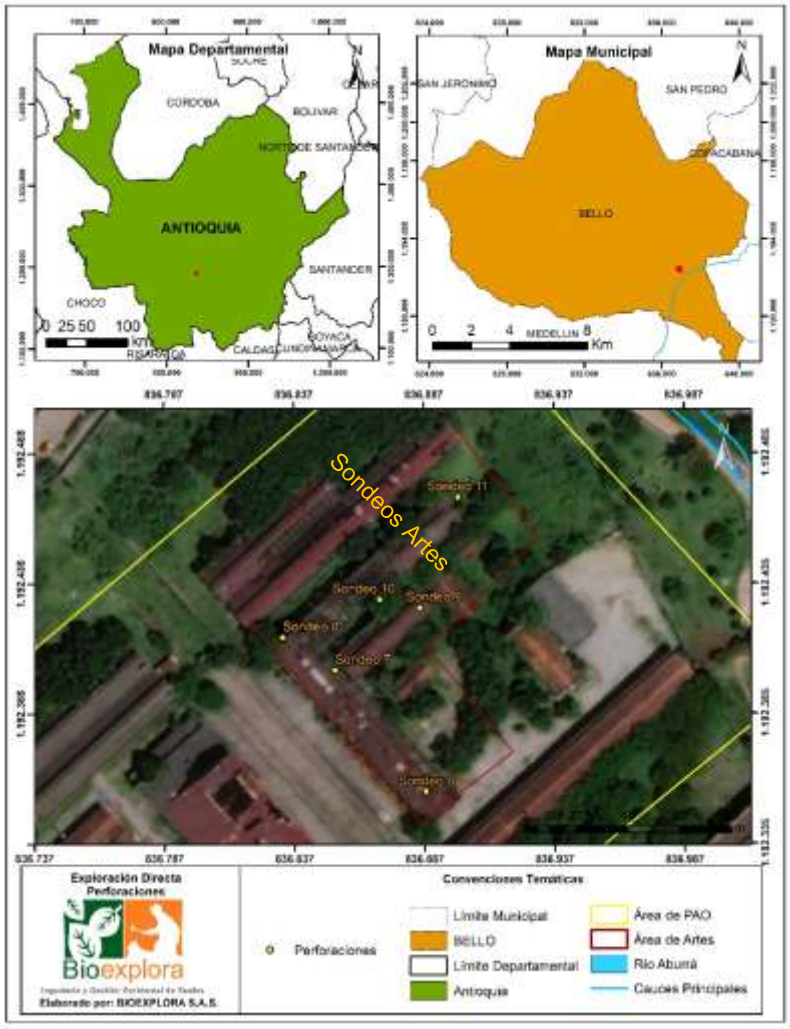
Fuente: Bioexplora S.A.S, (2021).

4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

4.1 EXPLORACIÓN DIRECTA

Se ejecutaron seis (6) sondeos exploratorios directos por el método de 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. 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 3 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 4 Profundidad, posición y medida del nivel freático de los sondeos directos realizados

Sondeo	Profundidad (m)	Nivel Freático (m)	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Sondeo 6	7.45	3.00	6°20'0.75"N	75°33'5.49"O
Sondeo 7	7.25	3.00	6°20'2.55"N	75°33'6.54"O
Sondeo 8	10.00	3.00	6°20'2.74"N	75°33'7.29"O
Sondeo 9	7.15	2.70	6°20'3.12"N	75°33'5.50"O
Sondeo 10	11.50	2.50	6°20'3.21"N	75°33'6.18"O
Sondeo 11	10.00	2.50	6°20'4.35"N	75°33'5.16"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 proyectada para la unidad constructiva de Artes corresponde a una estructura liviana, cuya carga de servicio (viva + muerta) máxima es de 300 kN. De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que la estructura es de baja categoría, con base en la clasificación dada en la norma sismo resistente NSR-10 (Tabla H.3.1-1), por lo que la exploración hecha, resumida en la Tabla 4, cumple con lo exigido en la norma.

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

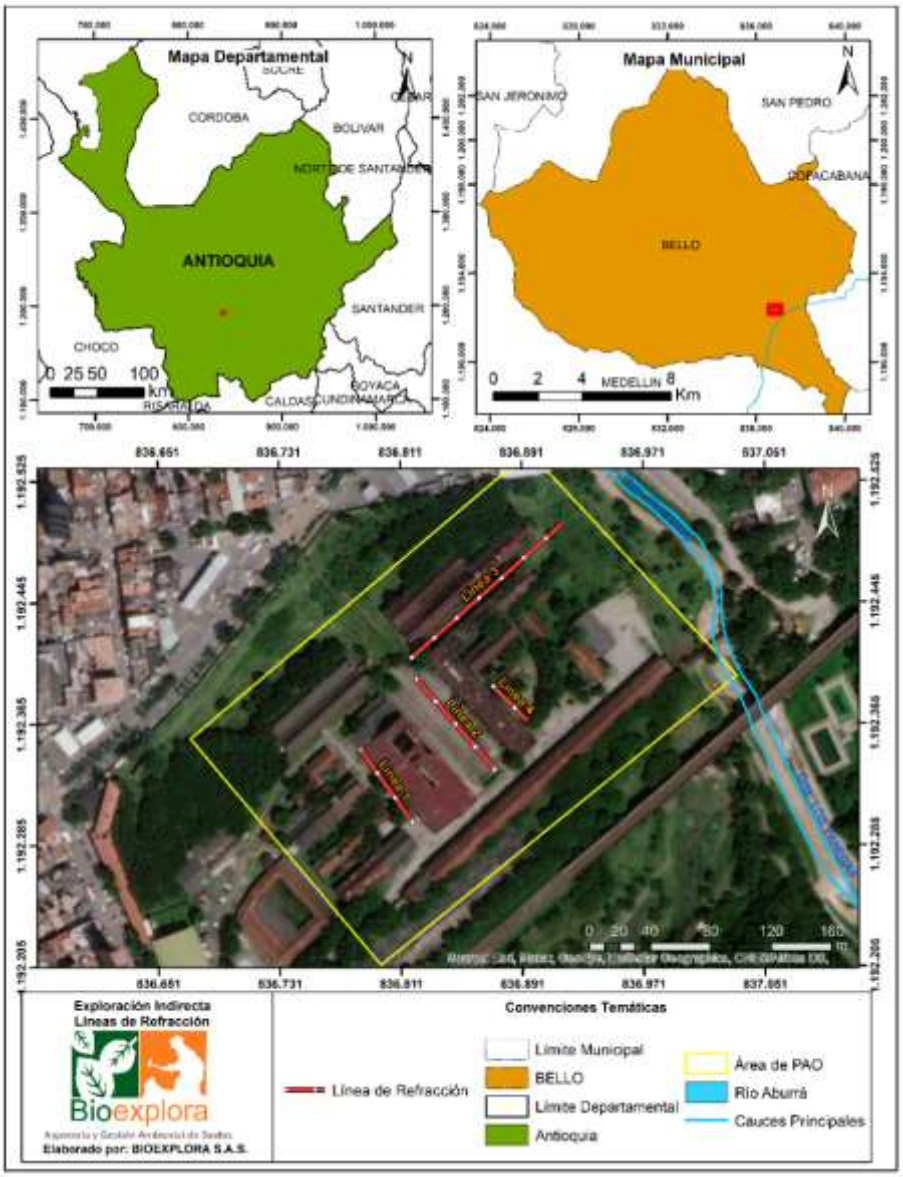
La realización de la exploración indirecta para la proyección de la infraestructura del *Parque de Artes y Oficios (PAO),* ubicado sobre los Antiguos Talleres del Ferrocarril de Antioquia en el municipio de Bello -Antioquia, sobre la antigua llanura de inundación del *Rio Medellín*, el cual tiene como 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 tres (3) líneas de refracción sísmica distribuidas de la siguiente manera; *Línea 2*, al oriente de la

proyección de la unidad estructural 6 – Auditorio; *Línea 3*, al noroccidente de la unidad estructural 7; *Línea 4*, al oriente de la unidad estructural 8, dentro del área de estudio, 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 5 Coordenadas de ubicación de la línea de Refracción sísmica.

	INICIO		FINAL		
Línea de Refracción	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada X	Coordenada Y	Longitud
Línea 2	836873,90	1192334,00	836820,84	1192395,55	77 m
Línea 3	836820,49	1192410,65	836917,98	1192497,05	125 m
Línea 4	836871,08	1192390,98	836895,37	1192369,23	28 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).

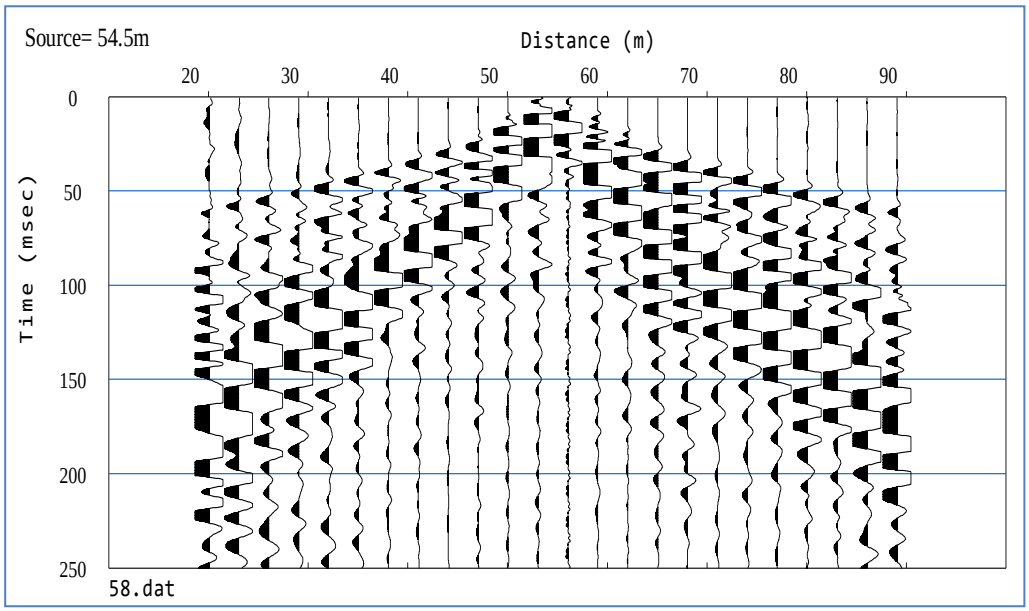
Este principio se basa en que; *a mayor profundidad la velocidad de transmisión en el medio aumenta, debido a la compactación del suelo y su composición*. Las ondas generadas por los impactos o golpes son recibidas por los geófonos después de un tiempo “t”, dependiendo también de la distancia “d”, fuerza 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 2: Geófonos cada 3 metros, con una longitud total de 77 metros.
- Línea 3: Geófonos cada 5 metros, con una longitud total de 125 metros.
- Línea 4: Geófonos cada 1 metro, con una longitud total de 28 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:

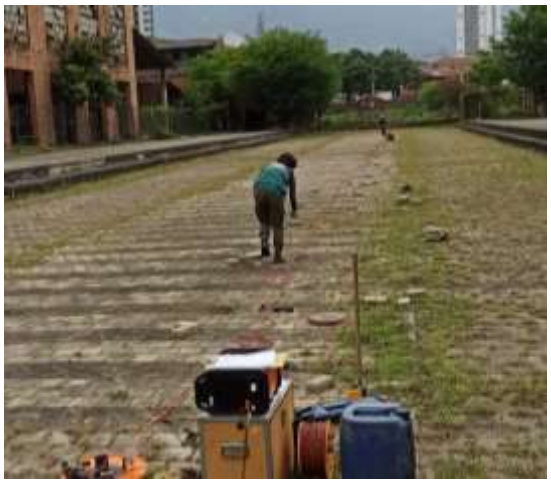
- ✓ *Línea 2:* -8, 1.5, 16.5, 34.5, 49.5, 67.5 y 77 metros.
- ✓ *Línea 3:* -10, 2.5, 27.5, 57.5, 82.5, 112.5 y 125 metros.
- ✓ *Línea 4:* -5, 0.5, 5.5, 11.5, 16.5, 22.5 y 28 metros.

Fotografía 6 Registros fotográficos de las líneas sísmicas realizadas.

Línea de Refracción Sísmica - 02







Línea de Refracción Sísmica - 03







Línea de Refracción Sísmica - 04



Fuente: Bioexplora S.A.S.

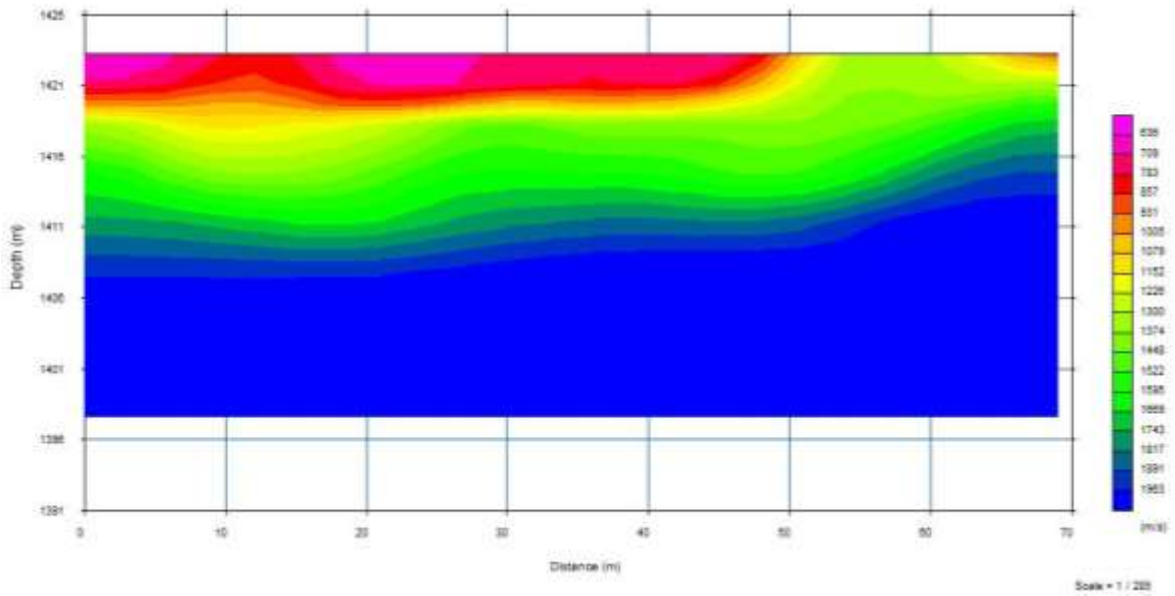
4.2.3 Procesamiento de datos

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.

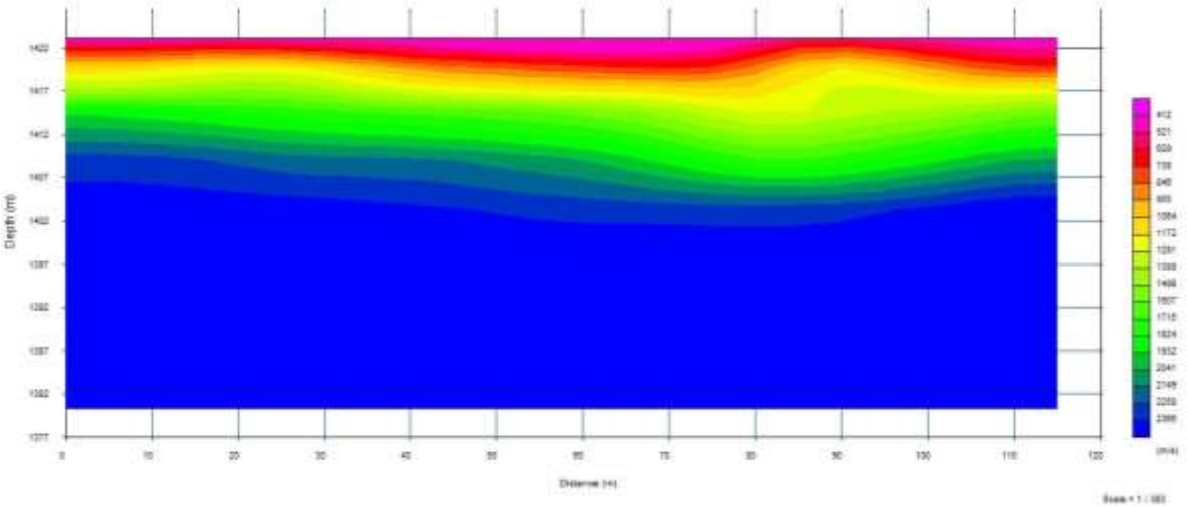
A continuación, se muestran los datos obtenidos en campo:

Figura 14 Línea de refracción sísmica - 02.



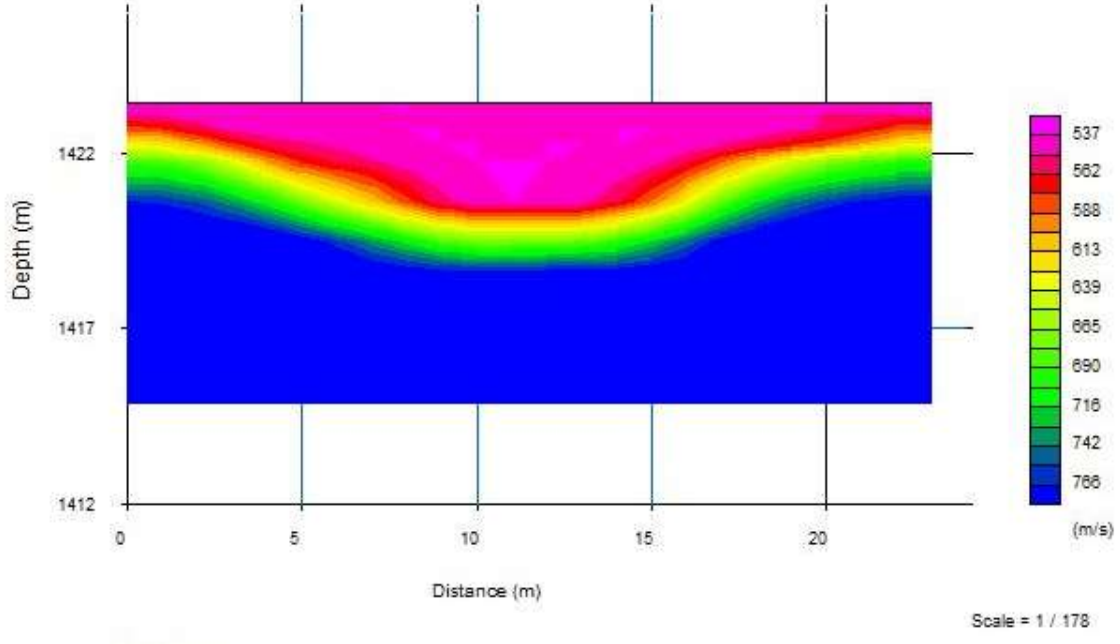
Fuente: Bioexplora S.A.S

Figura 15 Línea de refracción sísmica - 03.



Fuente: Bioexplora S.A.S

Figura 16 Línea de refracción sísmica - 04.



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 2***, con la separación de 3 metros, se logró obtener información hasta los 25 metros de profundidad aproximadamente.
- En la ***línea 3***, con la separación de 5 metros, se logró obtener información hasta los 48 metros de profundidad aproximadamente.
- En la ***línea 4***, con la separación de 1 metro, se logró obtener información hasta los 9 metros de profundidad aproximadamente.

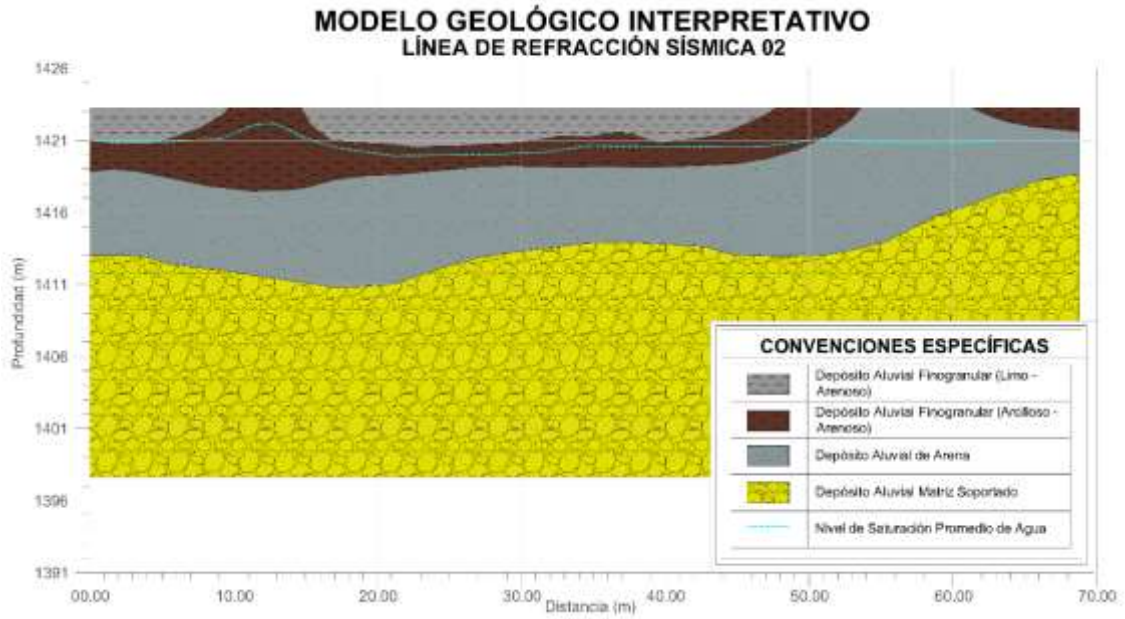
Las ***líneas de refracción*** realizadas se encuentran ubicadas sobre una topografía plana de intervención antrópica, en orientaciones paralelas longitudinalmente (Línea 1, 2 y 4) y transversalmente (Línea 3) a las proyecciones de las unidades estructurales descritas anteriormente. Estas líneas presentan 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%.

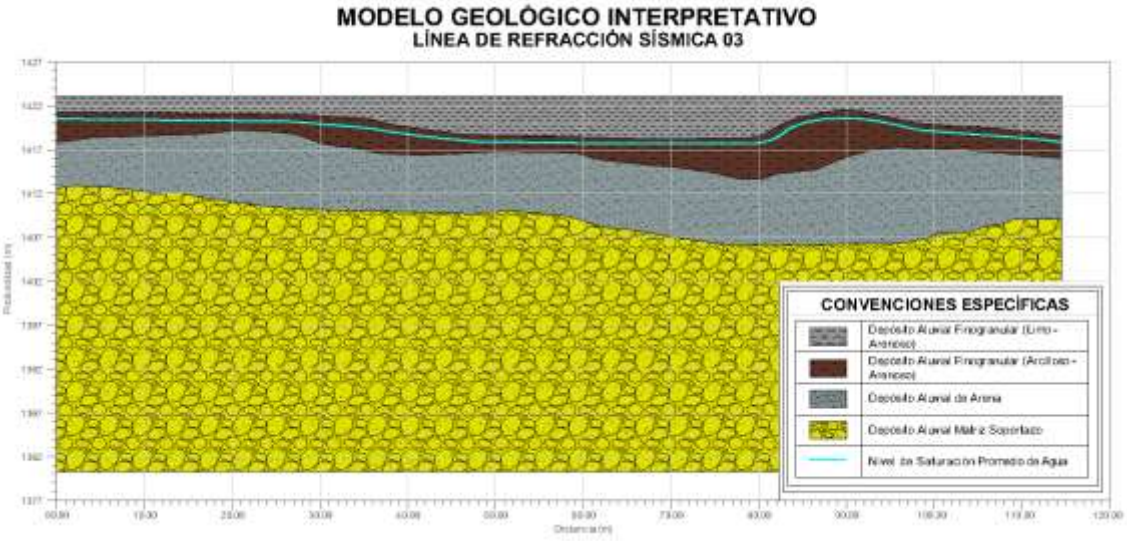
Además, se evidencia que a la altura de los 1420 m.s.n.m a 1421 m.s.n.m en las cuatro líneas sísmicas realizadas se encuentra el *nivel de saturación promedio del agua* en el área de estudio, ocasionando un cambio en el comportamiento y velocidad de tránsito de las ondas estudiadas mediante este método, 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 17 Interpretación línea sísmica - 02.



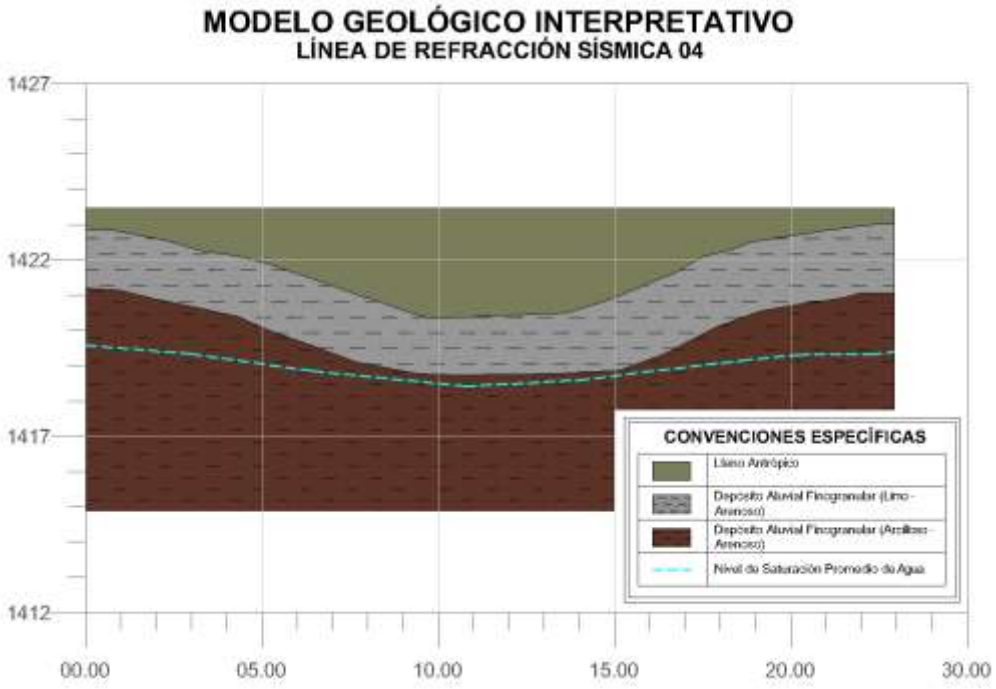
Fuente: Bioexplora S.A.S.

Figura 18 Interpretación línea sísmica - 03.



Fuente: Bioexplora S.A.S.

Figura 19 Interpretación línea sísmica - 04.



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. 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 gran similitud y correlación entre sí.

Figura 20 Disposición de las unidades estratigráficas en cada una de las perforaciones

Profundidad (m)	Perforaciones					
	Sondeo 6	Sondeo 7	Sondeo 8	Sondeo 9	Sondeo 10	Sondeo 11
0	Depósito aluvial - Material limoso - Consistencia media	Depósito aluvial - Material limoso - Consistencia media	Depósito aluvial - Material limoso - Consistencia media	Depósito aluvial - Material limoso - Consistencia media	Lleno antrópico	Lleno antrópico
1					Depósito aluvial - Material limoso - Consistencia media	Depósito aluvial - Material limoso - Consistencia media
2	Depósito aluvial - Material limo arenoso - Consistencia rígida					
3						Depósito aluvial - Material arcillo arenoso
4	Depósito aluvial - Material arcillo arenoso - Consistencia rígida	Depósito aluvial - Material arcillo arenoso - Consistencia rígida	Depósito aluvial - Material arcillo arenoso - Consistencia rígida	Depósito aluvial - Material arcillo arenoso - Consistencia rígida	Depósito aluvial - Material arcillo arenoso - Consistencia rígida	Depósito aluvial - Material arenoso - Densidad densa
5						
6	Depósito aluvial - Material arenoso - Densidad densa	Depósito aluvial - Material arenoso - Densidad densa	Depósito aluvial - Material arenoso - Densidad densa	Depósito aluvial - Material arenoso - Densidad densa	Depósito aluvial - Material arenoso - Densidad densa	Depósito aluvial - Matriz soportado (95/05)
7			Depósito aluvial - Matriz soportado (70/30) con presencia de clastos		Depósito aluvial - Matriz soportado (65/35) con presencia de clastos	Depósito aluvial - Matriz soportado (85/15) con presencia de clastos
8						
9						
10					Depósito aluvial - Matriz soportado (90/10)	
11						

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 limo 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 café oscuro a pardo, plasticidad nula y humedad baja. Se encontró en los sondeos 10 y 11 de un espesor de 50cm.

Fotografía 7 Lleno antrópico



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

4.3.2 Horizonte 1 – Llanura de Inundación

El horizonte 1 de la Llanura de inundación corresponde a un material limoso a limo arenoso de baja a media plasticidad, de coloración gris oscuro a pardas 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 8 Horizonte 1 - Llanura de inundación



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

4.3.3 Horizonte 2 – Depósito aluvial

El horizonte 2 del depósito aluvial corresponde a un material arcilloso a arcillo arenoso, de coloración gris verdoso, con presencia de fragmentos líticos, plasticidad alta, humedad media y consistencia rígida. Se presenta a partir de los 4.00 metros hasta los 6.00 metros.

Fotografía 9 Horizonte 2 - Depósito aluvial



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

4.3.4 Horizonte 3 – Depósito aluvial

El horizonte 3 del depósito aluvial corresponde a un material arenoso a areno gravoso, de coloración gris oscuro a negro, con presencia de fragmentos líticos, plasticidad baja, humedad alta y densidad densa. Se presenta a partir de los 6.00 metros hasta los 7.50 metros.

Fotografía 10 Horizonte 3 - Depósito aluvial



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

4.3.5 Horizonte 4 – Depósito aluvial

El horizonte 4 del depósito aluvial corresponde a un material matriz soportado con fracción matriz-fragmentos líticos de 90/10%, color gris y fragmentos líticos menores a 10 cm diámetro (Fotografía 5).

Fotografía 11 Horizonte 4 - Depósito aluvial



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

4.4 CONSISTENCIA Y CONTINUIDAD DE LOS ESTRATOS

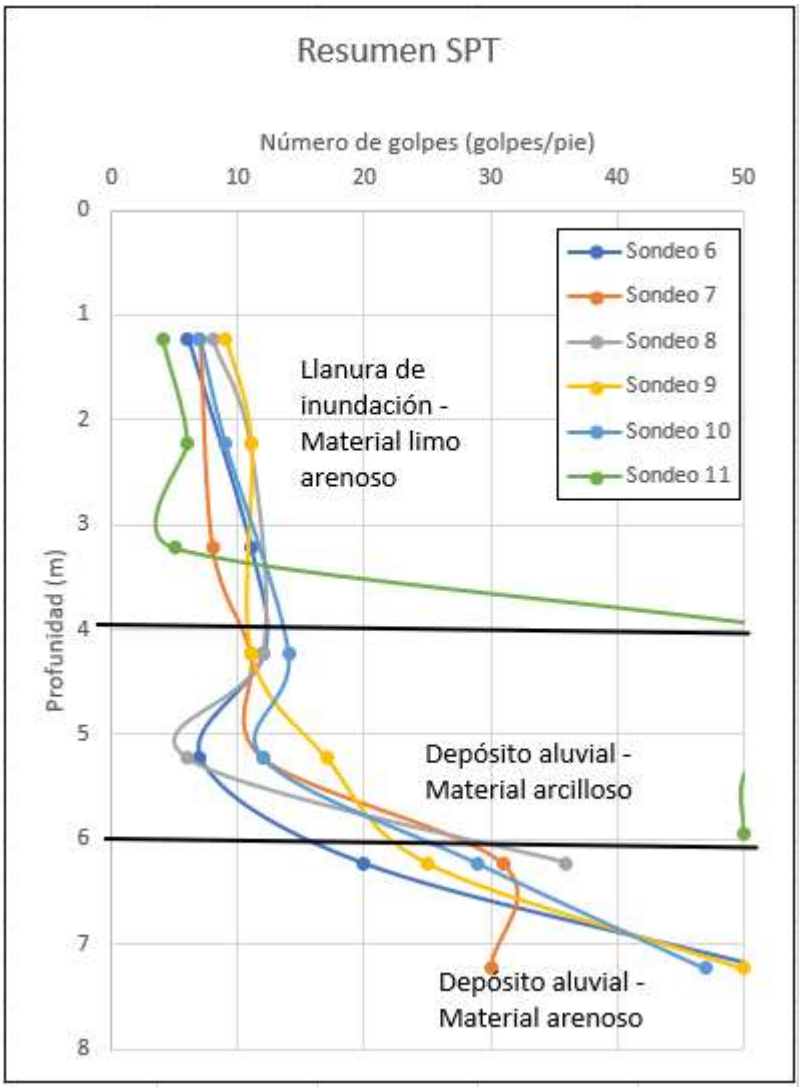
A partir de los resultados del ensayo de Resistencia a la Penetración Estándar (SPT) se determinó la consistencia de los horizontes de suelo, con base en los criterios presentados en la Tabla 6, tomados a partir de (FHWA, 2006). Para esto se graficó la variación del número de golpes (N) con la profundidad en cada una de las perforaciones Figura 21.

Tabla 6 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 21 Variación del número de (N) con la profundidad



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

Con base en la Figura 21 y en la clasificación propuesta en la Tabla 6, se puede concluir que:

- El horizonte 1 de la llanura de inundación, presenta una consistencia media de acuerdo a los ensayos SPT
- El horizonte 2 del depósito aluvial, presenta una consistencia de rígida. Siendo más rígida que el estrato anterior.
- El horizonte 3 del depósito aluvial presenta un material denso.

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 las profundidades dadas en la siguiente tabla:

Tabla 7 Medida del nivel freático de los sondeos directos realizados

Sondeo	Nivel Freático (m)
Sondeo 6	3.00
Sondeo 7	3.00
Sondeo 8	3.00
Sondeo 9	2.70
Sondeo 10	2.50
Sondeo 11	2.50

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

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

4.6 RESULTADOS DE LABORATORIO

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.

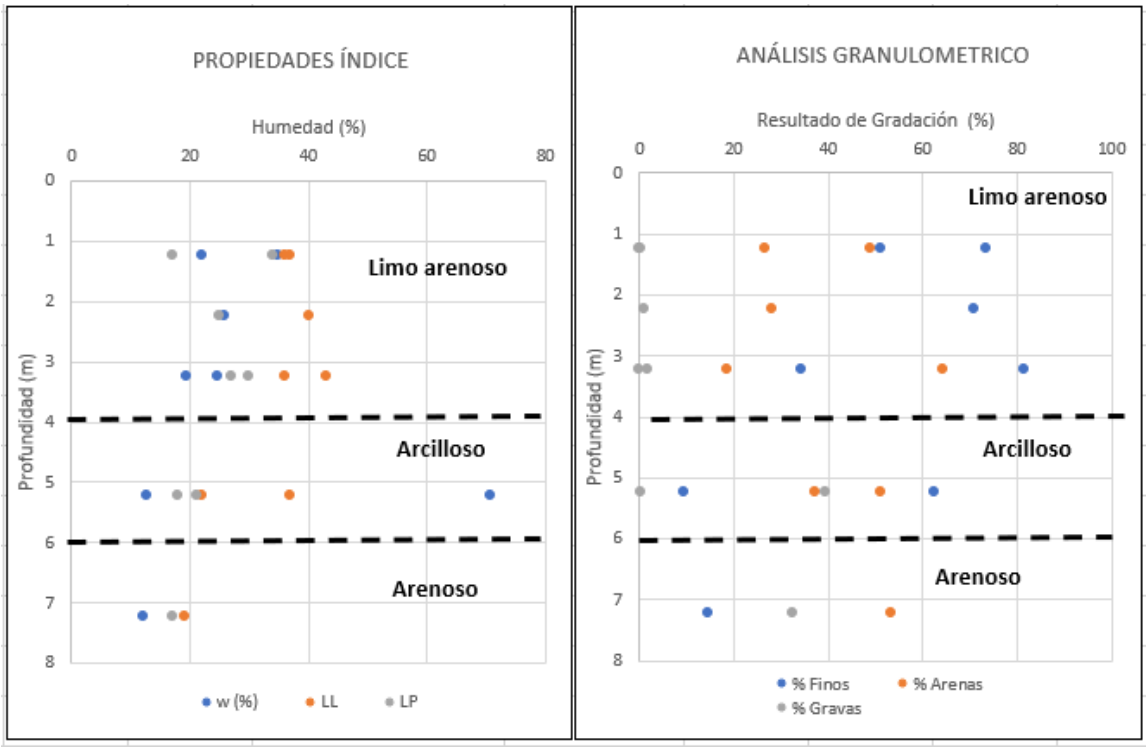
Tabla 9 Resultados de laboratorio de clasificación

Identificación	Profundidad (m)	Estrato	ω (%)	LL	LP	IP	% Grava	% Arena	N°200	S.C.U.S
S7 - M2	1.00 - 1.45	Horizonte 1	34,8	36	34	2	0	49	51	ML
S7 - M4	3.00 - 3.45	Horizonte 1	24,6	36	27	9	1,7	64,2	34,1	SM
S7 - M6	5.00 - 5.45	Horizonte 2	70,6	37	18	19	0,1	37,3	62,6	CL
S10 - M2	1.00 - 1.45	Horizonte 1	21,9	37	17	20	0,2	26,5	73,3	CL
S10 - M4	3.00 - 3.45	Horizonte 1	19,4	43	30	13	0	18,4	81,6	ML
S10 - M8	7.00 - 7.45	Horizonte 3	12,1	19	17	2	32,4	53,1	14,5	SM
S11 - M3	2.00 - 2.45	Horizonte 1	25,7	40	25	15	0,8	28,2	70,9	CL
S11 - M6	5.00 - 5.45	Horizonte 3	12,8	22	21	1	39,5	51,2	9,3	SP-SM

Fuente: Laboratorio 3axial

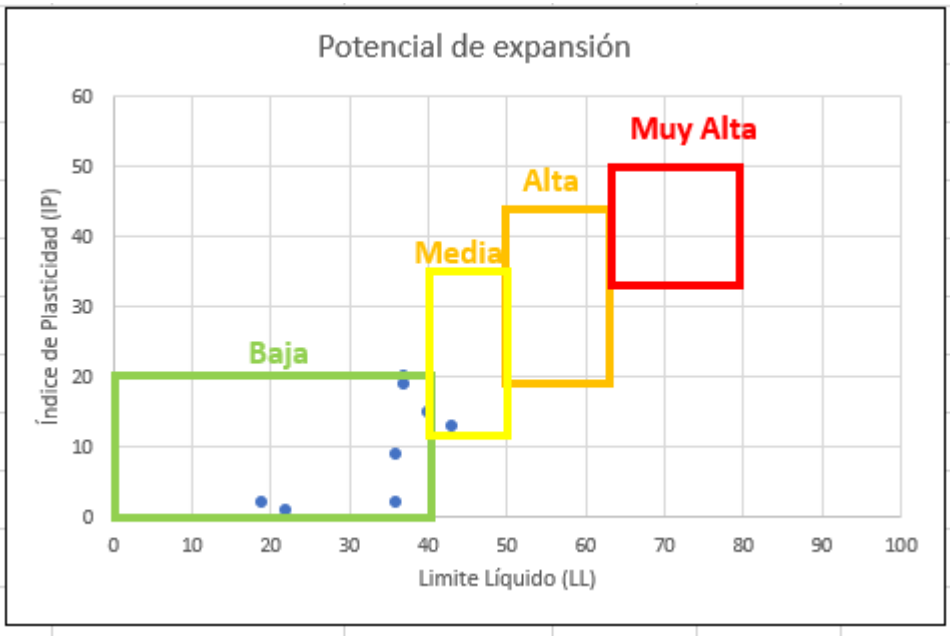
Para mejor entendimiento de los resultados de los análisis de laboratorio, se grafican las distintas propiedades del suelo obtenidas:

Figura 22 Propiedades índice y análisis granulométrico



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

Figura 23 Potencial de expansión



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

Como se puede observar en la Figura 22, se puede observar marcadamente la diferencia entre cada uno de los estratos, el estrato 1 posee gran cantidad de finos con unos límites líquidos y plástico bajos, el estrato 2 también posee una gran cantidad de finos, pero su plasticidad es mucho más alta al ser una arcilla, y el estrato 3 posee una gran cantidad de material grueso, entre arenas y gravas.

De la Figura 23 se puede observar que en general los suelos de la zona poseen un potencial de expansión bajo.

La caracterización mecánica de los materiales se hizo mediante ensayos de campo y ensayos de laboratorio, se hizo un ensayo de compresión inconfinada con el objetivo de que se corroborara la consistencia del material, el otro ensayo de laboratorio realizado fue el ensayo de corte directo drenado CD (ASTM D3080), se realizó el ensayo a la muestra S7-M4 recuperado entre 3.00m – 3.45m de profundidad correspondiente al horizonte limo arenoso. Este tipo de ensayo tiene como propósito determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo, 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. En tal sentido, se presenta en la el resumen de los parámetros de estado y de resistencia al cortante en términos de esfuerzos efectivo.

Tabla 10 Ensayos de laboratorio de resistencia

Identificación	Profundidad (m)	Estrato	ω (%)	γwet (Mg/m3)	γd (Mg/m3)	e	Su (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (kPa)
S7 - M4	3.00 - 3.45	Horizonte 1	24,6	1,920	1,541	0,752		37	24
S10 - M4	3.00 - 3.45	Horizonte 1	23,0	1,747	1,421	0,810	57,3		

Fuente: Laboratorio 3axial

Teniendo en cuenta el origen de la muestra de suelo, la clasificación de la muestra correspondiente y de los distintos estratos presenten, se considera que los valores de 24° de ángulo de fricción interno y de 37 kPa de intercepto de la envolvente de esfuerzos reflejan apropiadamente los valores de resistencia mecánica del suelo.

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

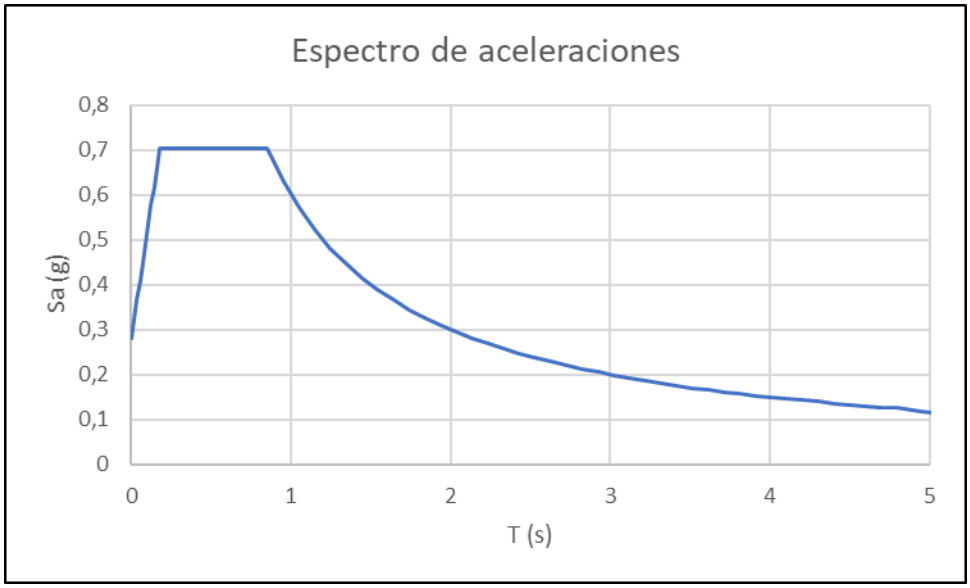
Fuente: NSR-10

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 24 Espectro de Aceleraciones. (Se considera Importancia de grupo de uso III)



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 diseños geotécnico de cimentaciones son los calculados a partir de las correlaciones con el ensayo de penetración estándar (Anexo 3), ensayos de laboratorio (Anexo 2), y ajustados según literatura disponible para el tipo de suelo particular.

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 limo arenoso	0	26,0	20	11600
Horizonte 2 - Depósito aluvial arcilloso	0	27,0	21	13000
Horizonte 3 - Depósito aluvial areno gravoso	0	30,0	21	20000

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

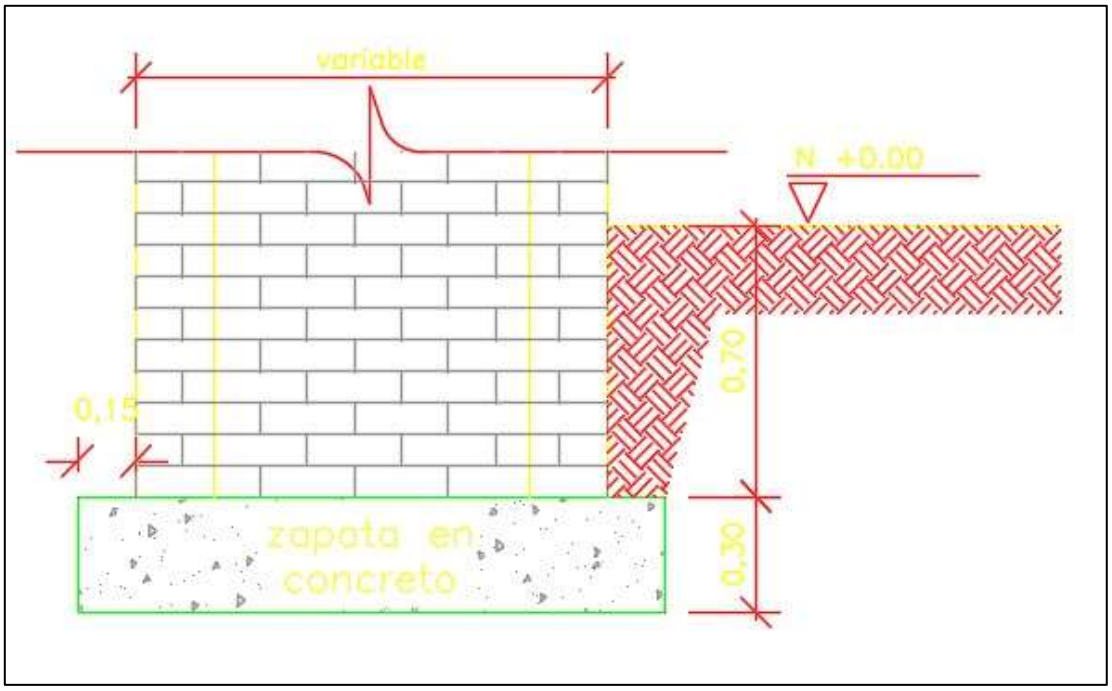
6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA CIMENTACIONES

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 0.70m, un desplante de 1.00m y un largo variable entre 1.10m y 1.52m. Todas estas dimensiones son identificadas con base en el plano “EST.PROY.PAO SCA-A P Ed.5 M” suministrado por la entidad. El esquema de las zapatas es presentado a continuación:

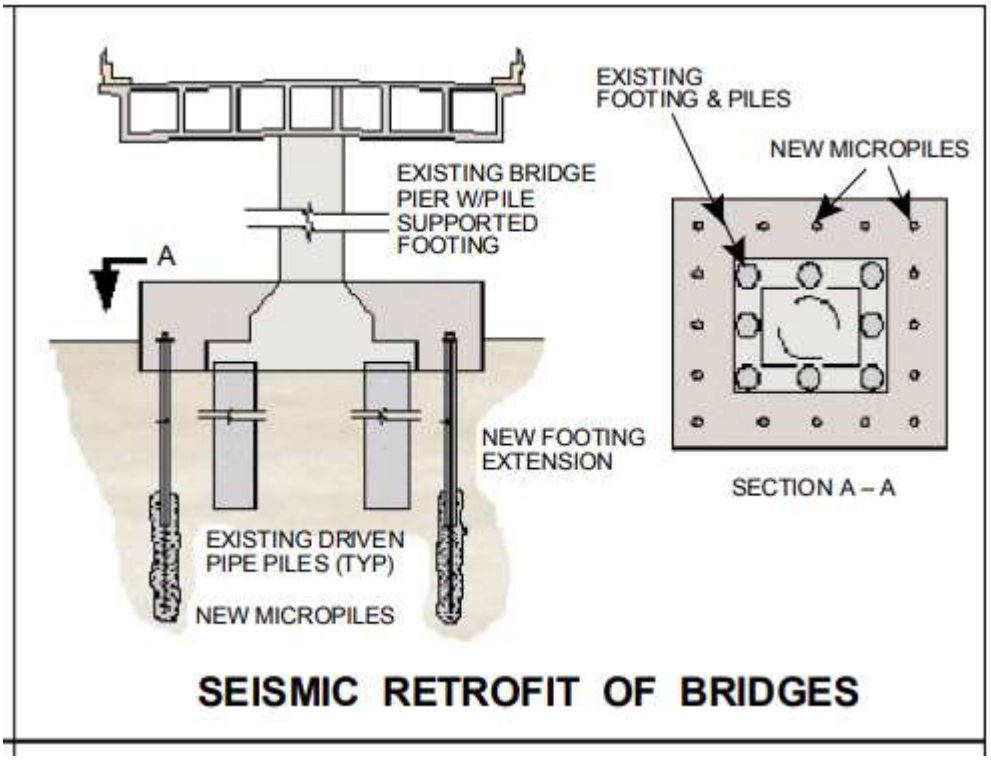
Figura 25 Detalle de zapata tipo 1



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 26 Esquema de repotenciación con micropilotes



Fuente: (FHWA, 2005)

Se evalúa también, para la nueva estructura, como sistema de cimentación propuesto, un sistema de zapatas superficiales, las cuales son las más adecuadas para la magnitud de cargas esperadas, que estarán de alrededor de 300 kN, esto último manifestado por la entidad, sin embargo, también es viable cimentar con 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 1.00 metros, un ancho fijo de 0.70 metros y un largo variable entre 1.10 metros y 1.52 metros, dimensiones que son identificadas con base en el plano “EST.PROY.PAO SCA-A P Ed.5 M” suministrado por la entidad

Figura 27 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 $$q_{ult} = 5.14 s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}$$

$$N_q = \text{same as Meyerhof above}$$

$$N_c = \text{same as Meyerhof above}$$

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

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:

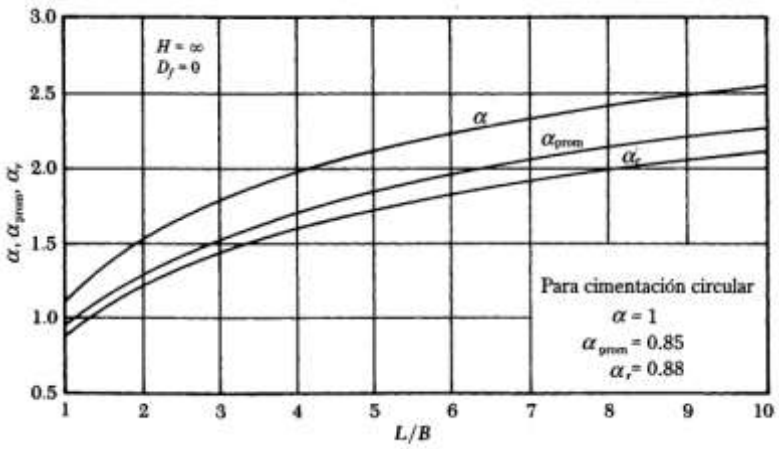
$$S_e = \frac{Bq_o}{E_s}(1 - \mu_s^2)\,\alpha_{prom} \quad \text{(promedio para cimentación flexible)}$$

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. Figura 28.

Figura 28 Valores de α para el cálculo de asentamientos elásticos



Fuente: (Das, 1999)

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

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

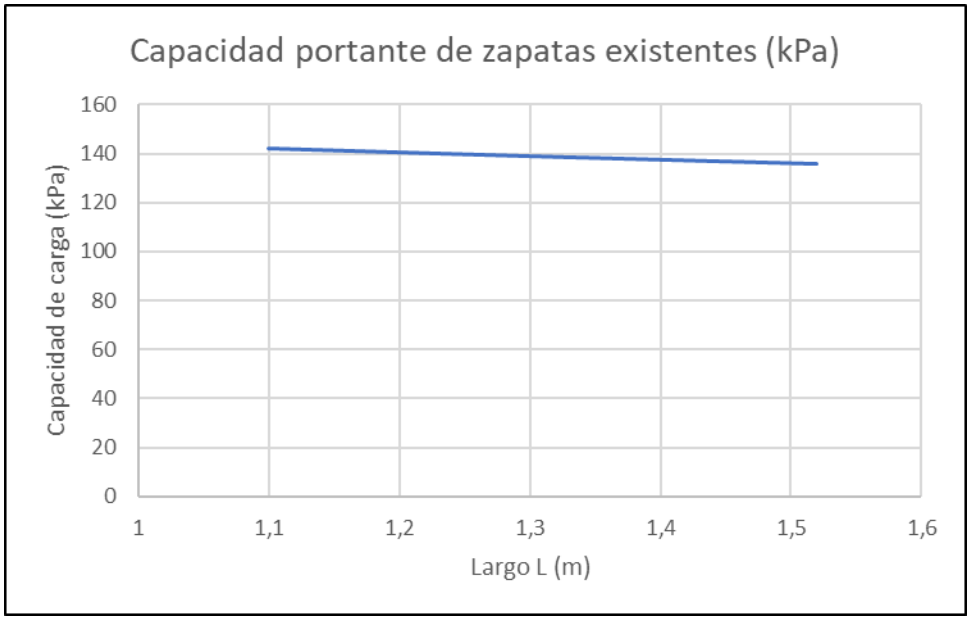
Donde:

- 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 1.00 metros, un ancho fijo de 0.70 metros y un largo variable entre 1.10 metros y 1.52 metros es presentada a continuación:

Figura 29 Capacidad de carga de las zapatas



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

Se observa que a medida que aumenta el largo de la zapata disminuye ligeramente la capacidad portante, esto es debido a que la zapata, al tener dimensiones relativamente grandes, está siendo controlada por la deformabilidad del suelo, haciendo que a medida que aumente el área de esta disminuya su capacidad. En promedio se tiene una capacidad de carga de 140 kPa. El módulo de balasto es de 23200 kN/m^3.

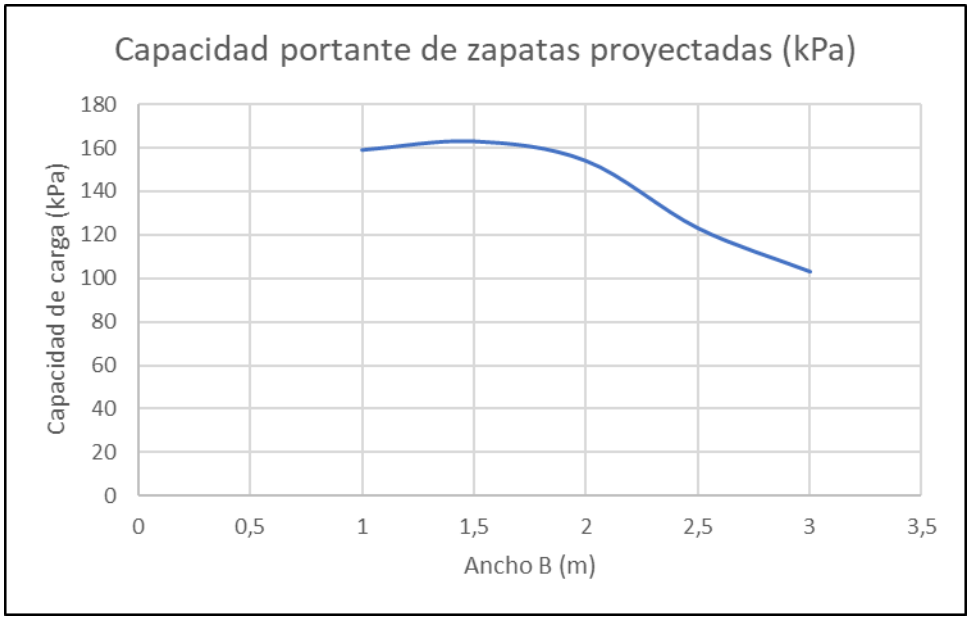
6.3 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS ZAPATAS DE LA NUEVA ESTRUCTURA

Para la evaluación de la capacidad de carga de las zapatas proyectadas como alternativa de solución de la cimentación de la nueva estructura (Unidad Artes) 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 27, (Bowles, 1997)) y la capacidad de carga por deformabilidad se determina según la Figura 28 (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.

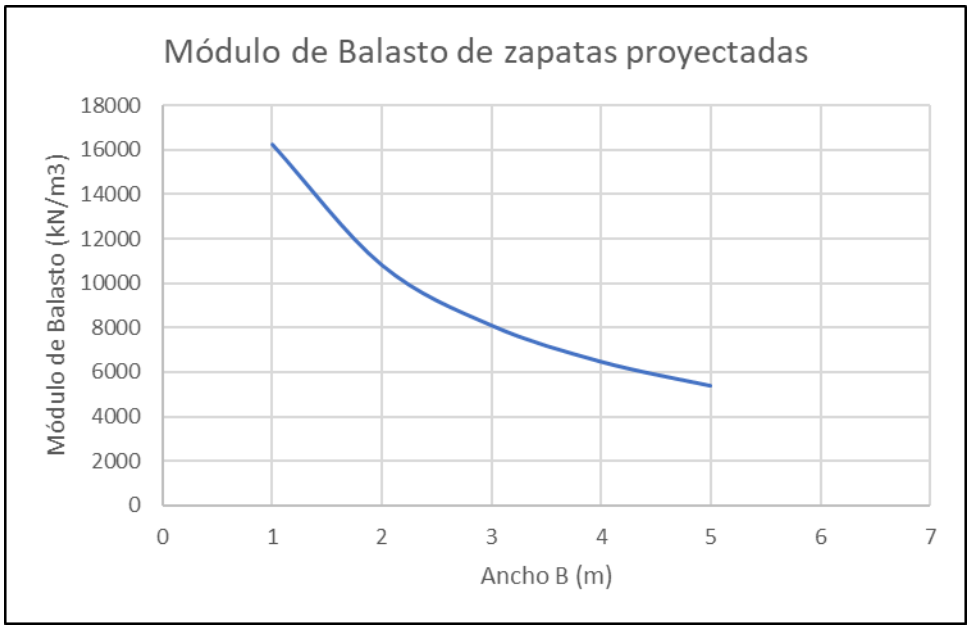
La capacidad de carga de las zapatas para el caso de evaluación de cimentación de nuevas estructuras (superficiales) está dada en la Figura 30, a una profundidad de desplante de 1.00m. El módulo de balasto está dado en la Figura 31.

Figura 30 Capacidad de carga de las zapatas para la nueva estructura



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

Figura 31 Modulo de balasto para las zapatas para la nueva estructura



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

6.4 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE MICROPILOTES

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.
- α_{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 considerada es de 85 kPa. Para el segundo horizonte, correspondiente a un material arcillo arenoso de consistencia rígida, la resistencia por fuste considerada es de 143 kPa. Y para el tercer horizonte, correspondiente a un material areno gravoso, la resistencia por fuste considerada es de 250 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):

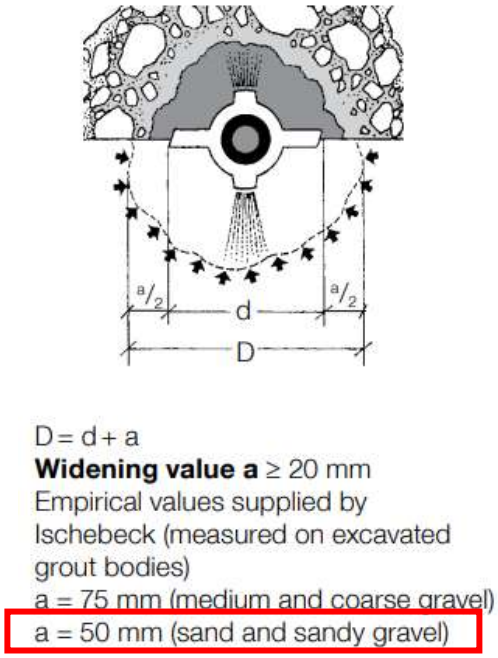
Tabla 16 Diámetro de la barra autoperforante

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 32.

Figura 32 Factor empírico de ensanchamiento del micropilote



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 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 los anexos.

A continuación, se resumen en la Tabla 18 la profundidad necesaria del grupo de micropilotes para conseguir una capacidad de 300 kN, variando en diámetro de los micropilotes.

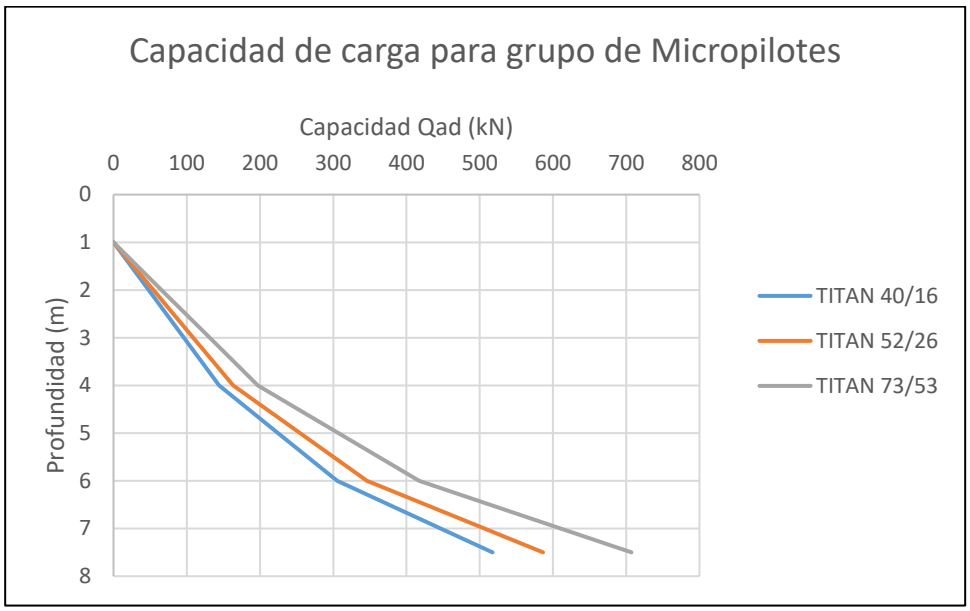
Tabla 18 Evaluación de los grupos de micropilotes

Tipo Barra	**Qg (kN)**	**Lb (m)**	**N # micropiles**	**FS**
40/16	300	5.00 m	4	2
52/26	300	4.50 m	4	2
73/53	300	4.00 m	4	2

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

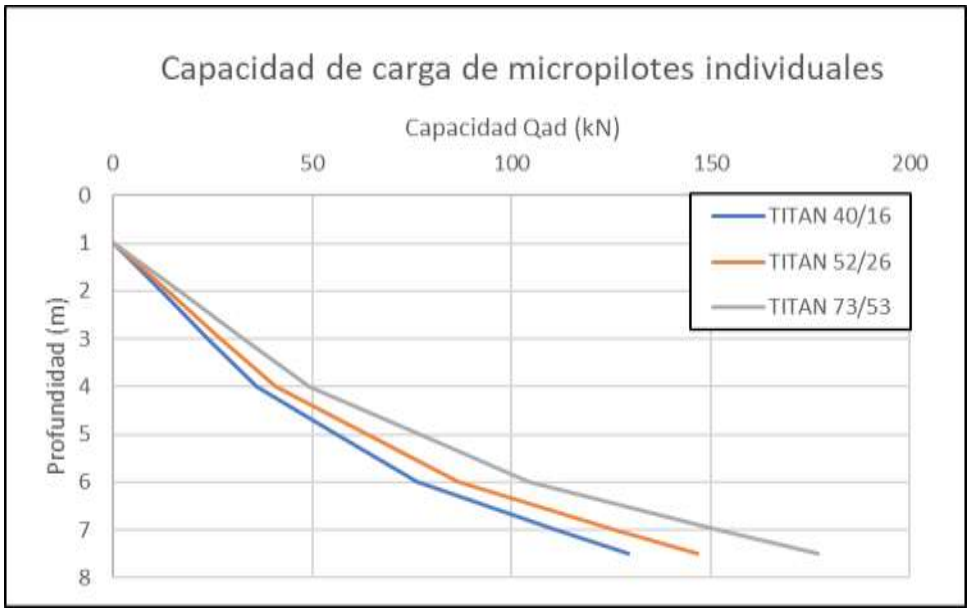
Se presenta también la capacidad de carga contra la profundidad como gráfica, tanto del grupo de cuatro (4) micropilotes y de los micropilotes individuales:

Figura 33 Evaluación de la capacidad de carga para grupos de micropilotes



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

Figura 34 Capacidad de carga para 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 19

Tabla 19 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.

7 DISEÑO GEOTÉCNICO DEL MURO DE CONTENCIÓN

Según el esquema del muro recibido de la entidad, el muro tiene una profundidad máxima de 3.00m. A continuación, se presenta la metodología para el cálculo de presiones sobre el muro de contención.

Figura 35 Esquema del muro



La estructura de contención que va a proporcionar el soporte lateral al muro existente de 3.00m, de manera permanente, se calcula mediante la teoría de Rankine para presiones sobre muros. Se considera que debido al desplazamiento lateral que puede tener el muro, se van a desarrollar el estado activo del suelo, por lo que se calculan las presiones sobre el muro como la presión activa de Rankine:

$$P_A = \gamma' * k_A - 2 * c' * \sqrt{k_A}$$

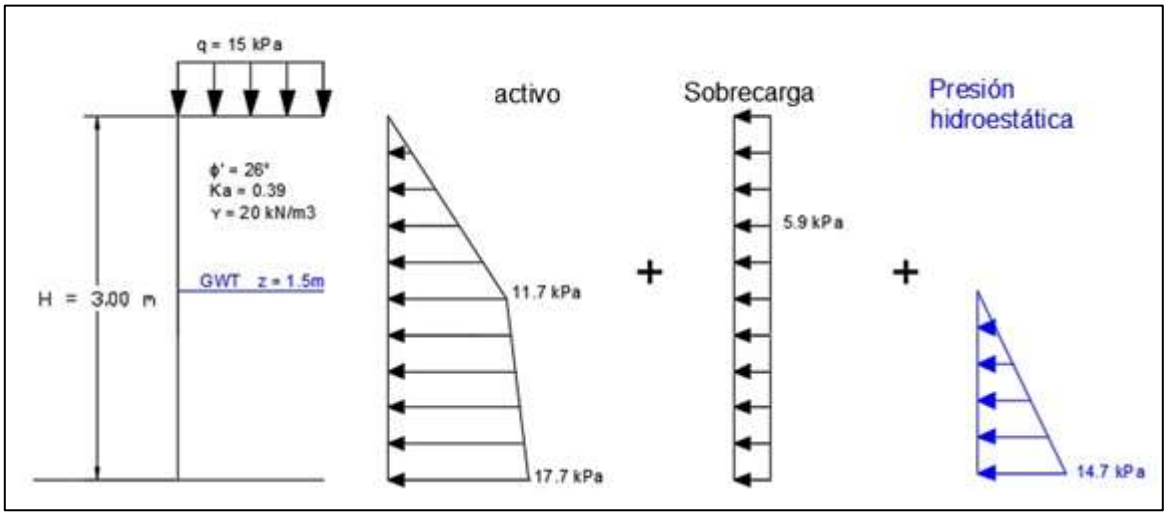
Donde:

$$k_A = tan^2(45 - \frac{\emptyset}{2})$$

También se tiene en cuenta la presión hidrostática debido al nivel freático (se considera un nivel freático a 1.50 mts), y una sobrecarga mínima de 15 kPa.

De esta manera, se presentan las presiones a las que va a estar sometido el muro (por 1 metro de ancho) a continuación:

Figura 36 Presiones sobre muro



Fuente: Bioexplora S.A.S.

De esta manera los empujes a considerar acorde con las presiones son:

- 30.8 kN/m de empuje activo.
- 11.02 kN/m de empuje hidrostático.
- 17.7 kN/m de empuje debido a la sobrecarga.

59,6 kN/m de empuje total estático.

Estos empujes se refieren bien sea al muro actual soportado mediante el apuntalamiento de la estructura, o bien sea adosado al reforzamiento.

8 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:

8.1 EVALUACIÓN DE LAS CIMENTACIONES

8.1.1 Cimentaciones superficiales existentes

La evaluación de la capacidad de carga de las cimentaciones existentes está dada por la Figura 29, y está dada para las condiciones de las zapatas encontradas en el lugar según planos, las cuales son zapatas que tienen una profundidad de desplante de 1.00 metros, un ancho fijo de 0.70 metros y un largo variable entre 1.10 metros y 1.52 metros. En promedio se tiene una capacidad de carga de 140 kPa.

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.

8.1.2 Cimentaciones superficiales proyectadas

Para la estructura a construir de artes, 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 30, y cuyo módulo de balasto está dado en la Figura 31.

8.1.3 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 de esta alternativa está dada en Tabla 18. la distancia mínima entre grupos de micropilotes está dada en la Tabla 19. Las longitudes reportadas en la Tabla 18 se consideran a partir de la profundidad de desplante, no se refieren a profundidades.

La evaluación individual de está dada en la Figura 34. 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 19

El diseño del micropilote autoperforante deberá ser verificado estructuralmente.

8.1.4 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.

8.2 Muro de contención

Los empujes desarrollados por el muro de contención están dados en la Figura 36, se recomienda que los empujes desarrollados sean soportados por la estructura.

Estos empujes se refieren bien sea al muro actual soportado mediante el apuntalamiento de la estructura, o bien sea adosado al reforzamiento.

8.3 PARÁMETROS SÍSMICOS

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

Tabla 20 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	III
Coeficiente de Importancia	1.25

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

8.4 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 $(45 + \phi/2)$ °.

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.

8.5 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 geotécnista a cargo.

La longitud de los micropilotes deberá ser rectificada y aprobada por el ingeniero geotécnista encargado durante el proceso de construcción.

8.6 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.

9 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

10 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.*

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

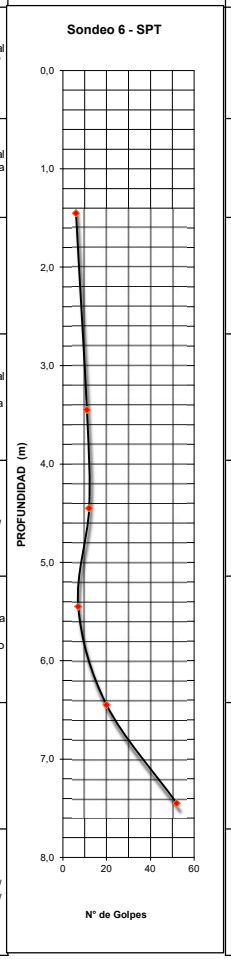
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquía
CLIENTE: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)
RESPONSABLE: Juan David Gallego
FECHA: 29 /04/2021
PERFORÓ: Luis Diaz

Sondeo N°6

PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	MUESTRA	MUESTREADOR	N° de Golpes	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
0,00	1,00		Pala Coca	N.A		Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso / Presencia de materia orgánica, micas y bolas de roca / Color café oscuro / Humedad media / Consistencia blanda
1,00	1,45		SPT	6		Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso / Presencia de micas / Color café oscuro / Plasticidad alta / Humedad media / Consistencia media
2,00	2,45	3	Shelby	N.A.		Esta muestra corresponde al Shelby
3,00	3,45		SPT	11	3,00 m	Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limo arenoso / Presencia de micas / Color pardo naranja / Plasticidad alta de la fracción fina / Humedad alta / Consistencia rígida
4,00	4,45		SPT	12		Depósito aluvial del río Medellín / Material arcillo arenoso / Presencia de micas y fragmentos de roca meteorizados / Color gris oscuro / Plasticidad alta de la fracción fina / Humedad alta / Consistencia rígida
5,00	5,45		SPT	7		Depósito aluvial del río Medellín / Material arcilloso con presencia de lentes de arena / Presencia de micas y fragmentos de roca meteorizados / Color gris oscuro con lentes de arena color pardo / Plasticidad alta / Humedad alta / Consistencia media
6,00	6,45		SPT	20		Depósito aluvial del río Medellín / Material areno limoso / Presencia de micas / Color gris / Plasticidad baja / Humedad alta / Densidad relativa medio-densa
7,00	7,45		SPT	52		Depósito aluvial del río Medellín / Material areno gravoso / Presencia de micas y rocas sub angulares / Color gris oscuro / Plasticidad baja / Humedad alta / Densidad relativa muy densa / Nota: Se presentó rechazo a los 7,50 mts

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 (Kg/m3)	GRAVEDAD ESPECIFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación USC	GRANULOMETRÍA (Porcentaje que pasa) GRAVAS 3/4	GRAVAS 1/2	GRAVAS 3/8	ARENA GRUESA Nº4	ARENA GRUESA Nº10	ARENA MEDIA Nº 40	ARENA FINA Nº 200	Curvas Granulométricas
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																	

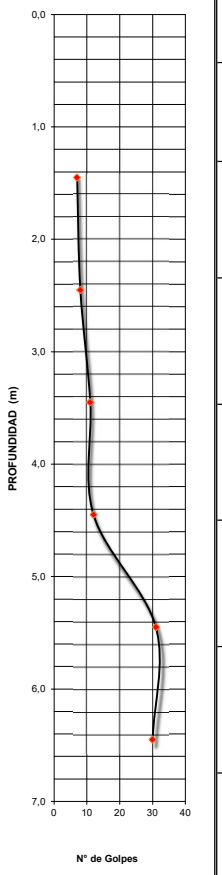
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquia
CLIENTE: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)
RESPONSABLE: Juan David Gallego
FECHA: 30 /04/2021
PERFORÓ: Luis Diaz

Sondeo N°7

PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	MUESTRA	MUESTREADOR	N° de Golpes	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
0,00	1,00		Pala Coca	N.A		Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso / Presencia de materia orgánica y micas / Color café oscuro / Humedad baja / Consistencia blanda
1,00	1,45		SPT	7		Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso / Presencia de micas / Color pardo naranja / Plasticidad media / Humedad media / Consistencia media
2,00	2,45		SPT	8		Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso con lentes de arena / Presencia de micas / Color de la matriz fina gris, color de los lentes de arena pardo naranja / Plasticidad alta / Humedad media / Consistencia media
3,00	3,45	4	Shelby	N.A.	3,00 m	Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limo arenoso / Presencia de micas / Color gris / Plasticidad media / Humedad media
4,00	4,45		SPT	11		Depósito aluvial del río Medellín / Material arcilloso / Presencia de micas / Color gris oscuro / Plasticidad alta / Humedad media / Consistencia rígida
5,00	5,45		SPT	12		Depósito aluvial del río Medellín / Material arcilloso / Presencia de micas / Color gris oscuro con café oscuro / Plasticidad alta / Humedad media / Consistencia rígida
6,00	6,45		SPT	31		Depósito aluvial del río Medellín / Material areno limoso / Presencia de micas / Color gris oscuro a negro / Plasticidad media de la porción fina / Humedad alta / Densidad relativa densa
7,00	7,25		SPT	30		Depósito aluvial del río Medellín / Material areno limoso / Presencia de micas / Color gris oscuro a negro / Plasticidad media de la porción fina / Humedad alta / Densidad relativa densa / Nota: Se presentó rechazo a los 7:25 mts

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



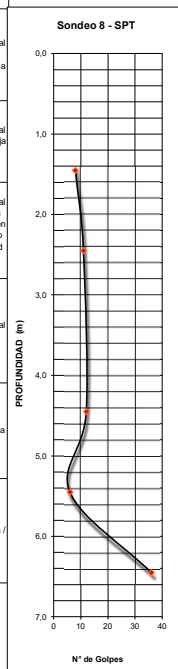
PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	Humedad (%)	Peso Unitario Húmedo (Mg/m3)	GRAVEDAD ESPECIFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación USC	GRANULOMETRÍA (Porcentaje que pasa) GRAVAS 3/4	GRAVAS 1/2	GRAVAS 3/8	ARENA GRUESA Nº4	ARENA GRUESA Nº10	ARENA MEDIA Nº 40	ARENA FINA Nº 200	Curvas Granulométricas
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																	

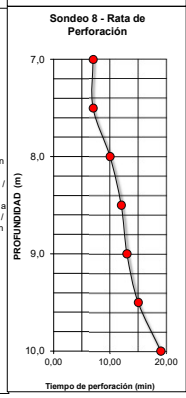
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquía
CLIENTE: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)
RESPONSABLE: Juan David Gallego
FECHA: 03 /05/2021
PERFORÓ: Luis Diaz

Sondeo N°8

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				Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso / Presencia de materia orgánica y micas / Color café oscuro / Plasticidad baja / Humedad media / Consistencia blanda
1,00	1,45		SPT	8				Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limo arenoso / Presencia de micas / Color pardo / Plasticidad baja / Humedad media / Consistencia media
2,00	2,45		SPT	11				Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material arcilloso con fragmentos de arena gruesa imbuidos / Presencia de micas / Fragmentos de arena gruesa color blanco imbuidos en una matriz arcillosa gris, y una matriz arcillosa color pardo rojizo sin la presencia de los fragmentos de arena gruesa / Plasticidad alta de la fracción fina / Humedad media / Consistencia rígida
3,00	3,45	4	Shelby	N.A.			3,00 m	Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material arenoso / Color gris
4,00	4,45		SPT	12				Depósito aluvial del río Medellín / Material arcillo arenoso / Presencia de micas / Color gris con betas pardo / Plasticidad alta / Humedad media / Consistencia rígida
5,00	5,45		SPT	6				Depósito aluvial del río Medellín / Material areno arcilloso / Presencia de micas / Color gris / Plasticidad alta / Humedad alta / Consistencia media
6,00	6,45		SPT	36				Depósito aluvial del río Medellín / Material areno gravoso / Presencia de micas / Color gris oscuro / Plasticidad baja / Humedad alta / Densidad relativa, densa / Nota: Se presentó rechazo a los 6,70 mts
6,70	7,00				7,00	0,142857		Depósito aluvial matriz soportado / Con los fluidos de perforación se identifica una posible matriz de arena media a gruesa de coloración grisáceo a pardo/ Fracción Matriz - Clasto (90 / 10%) / Clastos heterométricos de tamaños menores a <12 cm, polimícticos (basalto, cuarzo, diorita, y anfibolita), subangulosos a subredondeados / Clastos con meteorización baja a moderada / Alteración en las discontinuidades baja /Rugosidad ondulada en las discontinuidades /Porcentaje de Recuperación de 20%.
7,00	7,50				7,00	0,142857		
7,50	8,00				10,00	0,1		
8,00	8,50				12,00	0,083333		
8,50	9,00				13,00	0,076923		
9,00	9,50				15,00	0,066667		
9,50	10,00				19,00	0,052632		





PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	Humedad (%)	Peso Unitario Húmedo (Mg/m3)	GRAVEDAD ESPECÍFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación USC	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
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																	
6,70	7,00																	
7,00	7,50																	
7,50	8,00																	
8,00	8,50																	
8,50	9,00																	
9,00	9,50																	
9,50	10,00																	

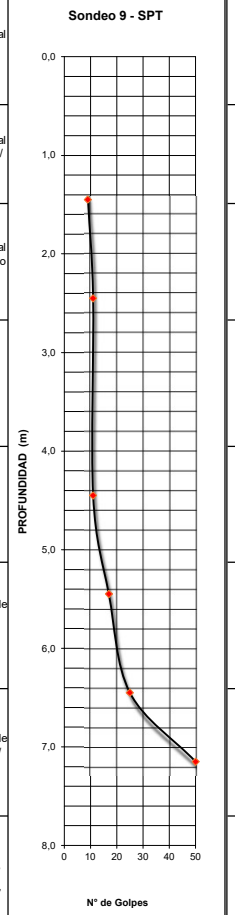
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquía
CLIENTE: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)
RESPONSABLE: Juan David Gallego
FECHA: 30 / 04 /2021
PERFORÓ: Rafael Padilla

Sondeo N°9

PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	MUESTRA	MUESTREADOR	Nº de Golpes	Nivel freático (m)	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
0,00	1,00		Pala Coca	N.A		Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limo arenoso / Presencia de pequeñas gravas y micas / Color pardo a café oscuro / Humedad baja / Plasticidad baja
1,00	1,45		SPT	9		Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limo arenoso / Presencia de micas / Color café oscuro a negro / Humedad baja / Plasticidad baja / Consistencia rígida
2,00	2,45		SPT	11	2,70 m	Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material arcillo arenoso / Presencia de micas / Color café oscuro a negro / Humedad baja / Plasticidad baja / Consistencia rígida
3,00	3,45	4	Shelby	N.A.		Esta muestra corresponde al Shelby
4,00	4,45		SPT	11		Depósito aluvial del río Medellín / Material arcillo arenoso / Presencia de micas / Color gris claro con betas color pardo / Humedad media / Plasticidad media-alta / Consistencia rígida
5,00	5,45		SPT	17		Depósito aluvial del río Medellín / Material arcilloso / Presencia de micas y pequeñas gravas / Color gris verdoso con betas color pardo / Humedad media / Plasticidad alta / Consistencia muy rígida
6,00	6,45		SPT	25		Depósito aluvial del río Medellín / Material arcilloso / Presencia de micas / Color gris verdoso / Humedad media / Plasticidad alta / Consistencia muy rígida
7,00	7,15		SPT	50		Depósito aluvial del río Medellín / Material areno gravoso / Presencia de micas y clastos pequeños de diferentes colores / Color gris / Humedad alta / Plasticidad baja / Densidad relativa, muy densa / Nota: Se presentó rechazo a los 7,15 mts

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 (Kg/m3)	GRAVEDAD ESPECIFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación USC	GRANULOMETRÍA (Porcentaje que pasa) GRAVAS 3/4	GRAVAS 1/2	GRAVAS 3/8	ARENA GRUESA Nº4	ARENA GRUESA Nº10	ARENA MEDIA Nº 40	ARENA FINA Nº 200	Curvas Granulométricas
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	7,15																	

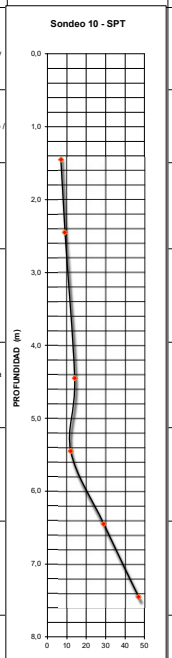
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

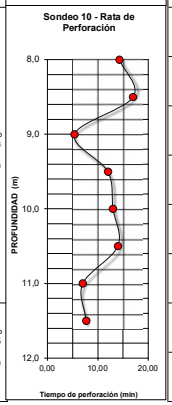
OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquia
CLIENTE: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)
RESPONSABLE: Juan David Gallego
FECHA: 04 / 05 /2021
PERFORÓ: Rafael Padilla

Sondeo N°10

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 los primeros 50cm, material areno gravoso / Pósteriormente se encontró un material limo arenoso, de baja plasticidad, humedad media, con presencia de micas, raíces y rocas redondeadas
1,00	1,45		SPT	7				Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limo arenoso / Presencia de micas / Color café oscuro / Humedad media / Plasticidad media / Consistencia media
2,00	2,45		SPT	9			2,80 m	Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material arcilloso / Presencia de micas y pequeñas raíces / Color café oscuro con motas negras / Humedad media / Plasticidad alta / Consistencia rígida
3,00	3,45	4	Shelby	N.A.				Esta muestra corresponde al Shelby
4,00	4,45		SPT	14				Depósito aluvial del río Medellín / Material arcilloso / Presencia de micas / Color gris verdoso / Humedad media / Plasticidad alta / Consistencia rígida
5,00	5,45		SPT	12				Depósito aluvial del río Medellín / Material arcillo arenoso / Presencia de micas / Color gris verdoso / Humedad media / Plasticidad alta / Consistencia rígida
6,00	6,45		SPT	29				Depósito aluvial del río Medellín / Material areno arcilloso / Presencia de micas / Color gris oscuro a negro / Humedad media / Plasticidad de la fracción fina alta / Consistencia muy rígida, densidad relativa medianamente densa
7,00	7,45		SPT	47				Depósito aluvial del río Medellín / Material areno gravoso / Presencia de micas y bolas de roca redondeadas / Color gris oscuro a negro / Humedad alta / Plasticidad baja / Densidad relativa densa / Nota: Se presentó rechazo a los 7:60 mts
7,60	8,00				14,27	0,070077		Depósito aluvial matriz soportado / Con los fluidos de perforación se identifica una posible matriz de arena media a gruesa de coloración grisáceo a pardo/ Fracción Matriz - Clasto (65 / 35%) / Clastos heterométricos de tamaños menores a <8 cm, polimícticos (basalto, cuarzo, diorita, y anfibolita), subangulosos a subredondeados / Clastos con meteorización baja a moderada / Alteración en las discontinuidades baja /Rugosidad ondulada en las discontinuidades /Porcentaje de Recuperación de 35%.
8,00	8,50				17,00	0,058824		
8,50	9,00				5,38	0,185874		
9,00	9,50				12,00	0,083333		
9,50	10,00				13,00	0,076923		
10,00	10,50				14,00	0,071429		
10,50	11,00				7,00	0,142857		Depósito aluvial matriz soportado / Con los fluidos de perforación se identifica una posible matriz de arena media a gruesa de coloración grisáceo a pardo/ Fracción Matriz - Clasto (90 / 10%) / Clastos heterométricos de tamaños menores a <5 cm, polimícticos (basalto, cuarzo, diorita, y anfibolita), subangulosos a subredondeados / Clastos con meteorización baja a moderada / Alteración en las discontinuidades baja /Rugosidad ondulada en las discontinuidades /Porcentaje de Recuperación de 10%.
11,00	11,50				7,70	0,12987		

CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Profundidad vs N° de Golpes) RATA DE PERFORACIÓN (Profundidad vs Tiempo)





PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	Humedad (%)	Peso Unitario Húmedo (Mg/m3)	GRAVEDAD ESPECÍFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación USC	GRANULOMETRÍA (Porcentaje que pasa) GRAVAS 3/4	GRAVAS 1/2	GRAVAS 3/8	ARENA GRUESA Nº4	ARENA GRUESA Nº10	ARENA MEDIA Nº 40	ARENA FINA Nº 200	Curvas Granulométricas
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																	
7,60	8,00																	
8,00	8,50																	
8,50	9,00																	
9,00	9,50																	
9,50	10,00																	
10,00	10,50																	
10,50	11,00																	
11,00	11,50																	

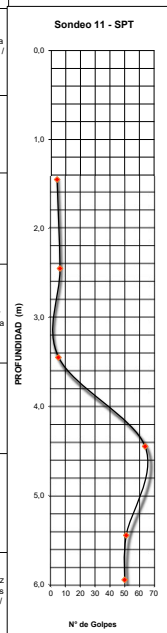
PERFIL ESTRATIGRÁFICO

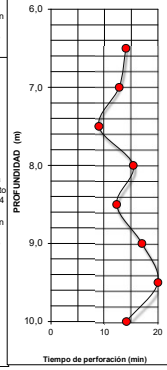
OBRA: Parque de Artes y Oficios (PAO)
LOCALIZACIÓN: Municipio de Bello, Antioquia
CLIENTE: Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)
RESPONSABLE: Juan David Gallego
FECHA: 03 / 05 /2021
PERFORÓ: Rafael Padilla

Sondeo N°11

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 limo arenoso / Presencia de materia orgánica, bolas de roca y basura / Color café oscuro a negro / Humedad media / Plasticidad baja
1,00	1,45		SPT	4				Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso / Presencia de micas / Color café pardo / Humedad media / Plasticidad baja / Consistencia suave
2,00	2,45		SPT	6			2,50 m	Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material limoso / Presencia de micas / Color café pardo con tonalidades naranjas / Humedad media / Plasticidad media / Consistencia media
3,00	3,45		SPT	5				Depósito aluvial del río Medellín, Llanura de inundación / Material arcilloso / Presencia de micas / Color café oscuro y pardo / Humedad media / Plasticidad alta / Consistencia media
4,00	4,45		SPT	64				Depósito aluvial del río Medellín / Material areno gravoso / Presencia de micas y bolas de roca de diferentes tamaños subredondeados / Color café pardo / Humedad alta / Plasticidad nula / Densidad muy densa
5,00	5,45		SPT	51				Depósito aluvial del río Medellín / Material areno gravoso / Presencia de micas y bolas de roca de diferentes tamaños subredondeados / Color gris / Humedad media / Plasticidad baja / Densidad muy densa
5,80	5,95		SPT	50				Depósito aluvial del río Medellín / Clasto soporyado con matriz arenosa / Material areno gravoso / Presencia de micas y bolas de roca de diferentes tamaños subredondeados / Color gris / Humedad media / Plasticidad baja / Densidad muy densa / Nota: Se presentó rechazo a los 5,95 mts
5,95	6,50				14	0,071		Depósito aluvial matriz soportado / Con los fluidos de perforación se identifica una posible matriz de arena media a gruesa de coloración grisáceo a pardo/ Fracción Matriz - Clasto (95 / 05%) / Clastos heterométricos de tamaños menores a <3 cm, polimícticos (basalto, cuarzo, diorita, y anfibolita), subangulosos a subredondeados / Clastos con meteorización baja a moderada / Alteración en las discontinuidades baja /Rugosidad ondulada en las discontinuidades /Porcentaje de Recuperación de 20%.
6,50	7,00				12,72	0,079		
7,00	7,50				8,92	0,112		Depósito aluvial matriz soportado / Con los fluidos de perforación se identifica una posible matriz de arena media a gruesa de coloración grisáceo a pardo/ Fracción Matriz - Clasto (85 / 15%) / Clastos heterométricos de tamaños menores a <4 cm, polimícticos (basalto, cuarzo, diorita, y anfibolita), subangulosos a subredondeados / Clastos con meteorización baja a moderada / Alteración en las discontinuidades baja /Rugosidad ondulada en las discontinuidades /Porcentaje de Recuperación de 30%.
7,50	8,00				15,35	0,065		
8,00	8,50				12,25	0,082		
8,50	9,00				17	0,059		
9,00	9,50				20	0,050		
9,50	10,00				14,08	0,071		

CURVA DE EVOLUCIÓN ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (Profundidad vs N° de Golpes) RATA DE PERFORACIÓN (Profundidad vs Tiempo)





PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	Humedad (%)	Peso Unitario Humedo (Mg/m3)	GRAVEDAD ESPECIFICA	Intercepto (kPa)	Fricción efectiva (°)	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Clasificación USC	GRANULOMETRÍA (Porcentaje que pasa) GRAVAS 3/4	GRAVAS 1/2	GRAVAS 3/8	ARENA GRUESA Nº4	ARENA GRUESA Nº10	ARENA MEDIA Nº 40	ARENA FINA Nº 200	Curvas Granulométricas
0,00	1,00																	
1,00	1,45																	
2,00	2,45																	
3,00	3,45																	
4,00	4,45																	
5,00	5,45																	
5,80	5,95																	
5,95	6,50																	
6,50	7,00																	
7,00	7,50																	
7,50	8,00																	
8,00	8,50																	
8,50	9,00																	
9,00	9,50																	
9,50	10,00																	

Anexo 2. Resultados 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. 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: S7
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) =	120.69
Masa suelo seco después de lavado (g) =	79.60
Masa de los finos (g) =	41.09
Porcentaje de finos (%) =	34.0

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	57	172	348
Masa tara (g)	6.41	6.14	5.59
Masa suelo húmedo + tara (g)	24.36	24.78	24.99
Masa suelo seco + tara (g)	20.87	21.13	21.07

Contenido de agua promedio (%) = 24.6

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.0	100
2"	50	0.00	0.0	100
1½"	37.5	0.00	0.0	100
1"	25	0.00	0.0	100
3/4"	19	0.00	0.0	100
3/8"	9.5	0.00	0.0	100
No. 4	4.75	2.00	1.7	98
No. 10	2	9.40	7.8	91
No. 20	0.85	28.80	23.9	67
No. 40	0.425	19.60	16.2	50
No. 60	0.25	8.50	7.0	43
No. 100	0.15	6.40	5.3	38
No. 140	0.106	2.60	2.2	36
No. 200	0.075	2.20	1.8	34.1
Fondo	0	0.10	0.08	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	1.7
ARENA (%) =	64.2
FINOS (%) =	34.1
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A.
D_{30} (mm) =	N.A.
D_{60} (mm) =	0.67

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

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 36

Tara No.	351	92	A30
Masa tara (g)	6.42	6.69	7.51
Masa suelo húmedo + tara (g)	17.61	17.48	19.23
Masa suelo seco + tara (g)	14.67	14.62	16.05
Contenido de agua (%)	35.64	36.07	37.24
Número de Golpes	34	27	16

Limite Plástico, LP = 27

Tara No.	89	411	407
Masa tara (g)	5.73	8.45	6.78
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.54	18.90	17.33
Masa suelo seco + tara (g)	14.24	16.71	15.15
Contenido de agua (%)	27.03	26.51	26.05

*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**SM**

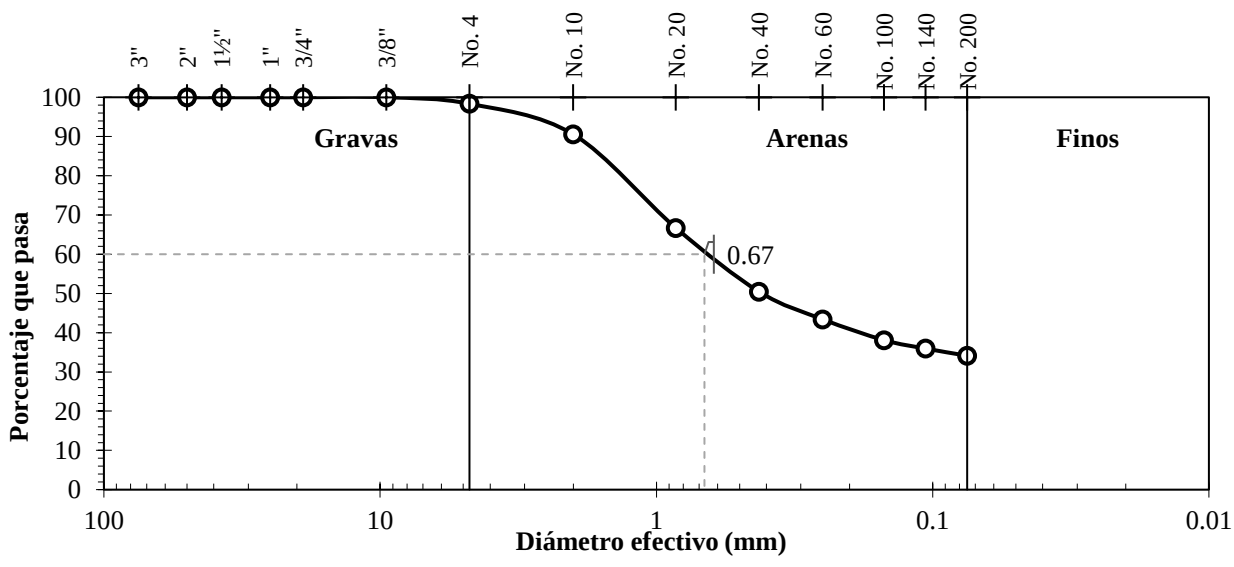
Ejecutó: LFRG
Revisó: Diego I. Galeano-Parra, MSc.

Fecha: 4/06/2021

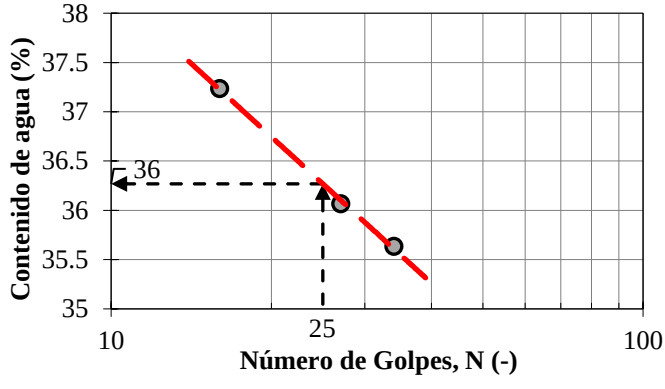
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



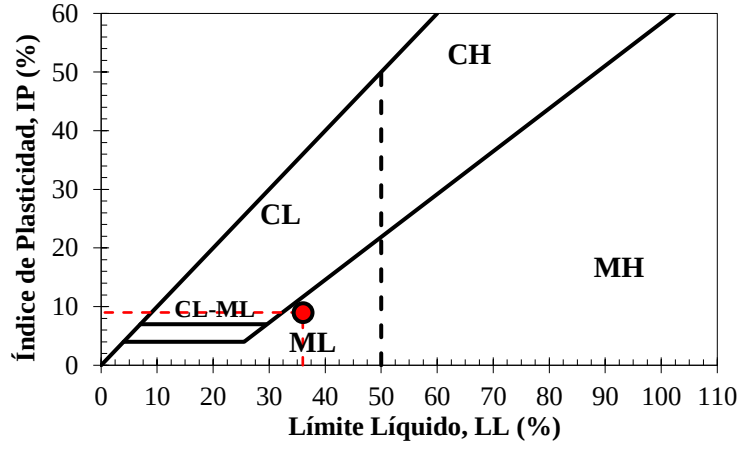
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-2.14
Intercepto =	43.17
Coef. de determinación, R^2 =	0.998
Limite Liquido, LL =	36

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 36
Limite Plástico, LP = 27
Índice de Plasticidad, IP = 9



Notas y Comentarios:

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)

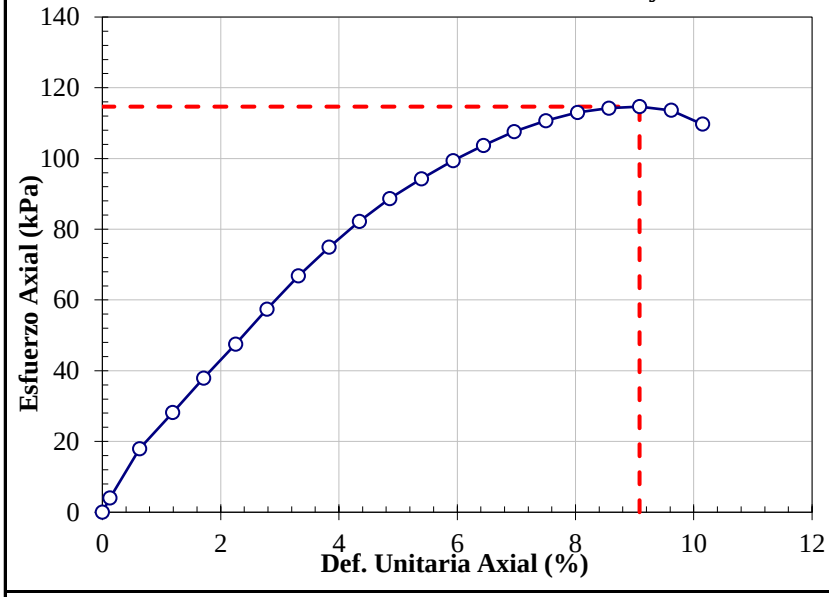
Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S
Descripción: Limo de baja plasticidad con arena (gris)

Perforación: S10
Muestra: M4
Prof. (m): 3

Datos Iniciales

Altura inicial, H_o (mm) =	126.83	Contenido de agua (espécimen completo), w (%) =	23.0
Diámetro inicial, D_o (mm) =	56.30	Densidad húmeda, ρ_{wet} (Mg/m^3) =	1.747
Área , A_o (mm^2) =	2489.76	Densidad seca, ρ_d (Mg/m^3) =	1.421
Volumen inicial, V_o (mm^3) =	315778.36	Grado de saturación, S (%) =	68.9
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) = 114.7

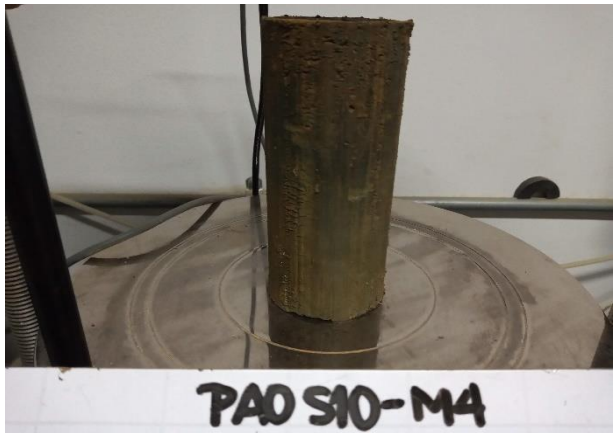
Def. unitaria axial a la falla:
$\varepsilon_{a(falla)}$ (%) = 9.1

Resistencia al corte no drenada:
s_u (kPa) = 57.3

Velocidad promedio de carga:
$\Delta\varepsilon_a$ (%/min) = 0.8

Modo de falla:
Abultamiento

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)	126.87	126.82	126.80	126.83

	Superior	Centro	Inferior	D_o (mm)
Diámetro (mm)	56.31	56.34	56.26	56.30

Carga axial (kgf)	**Def. axial (mm)**	**Área corregida (mm^2)**	**Esfuerzo axial (kPa)**	**Def. axial unitaria (%)**
0.00	0.0	2489.76	0.0	0.00
1.02	0.2	2492.91	4.0	0.13
4.59	0.8	2505.57	18.0	0.63
7.24	1.5	2519.76	28.2	1.19
9.79	2.2	2533.10	37.9	1.71
12.34	2.9	2547.20	47.5	2.25
14.99	3.5	2561.04	57.4	2.78
17.54	4.2	2575.04	66.8	3.31
19.78	4.9	2588.97	74.9	3.83
21.82	5.5	2602.84	82.2	4.34
23.66	6.2	2616.86	88.7	4.86
25.29	6.8	2631.69	94.2	5.39
26.82	7.5	2646.69	99.4	5.93
28.14	8.2	2661.19	103.7	6.44
29.37	8.8	2676.07	107.6	6.96
30.39	9.5	2691.58	110.7	7.50
31.20	10.2	2707.28	113.0	8.03
31.71	10.9	2722.92	114.2	8.56
32.02	11.5	2738.50	114.7	9.08
31.92	12.2	2754.75	113.6	9.62
31.00	12.9	2770.94	109.7	10.15

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)

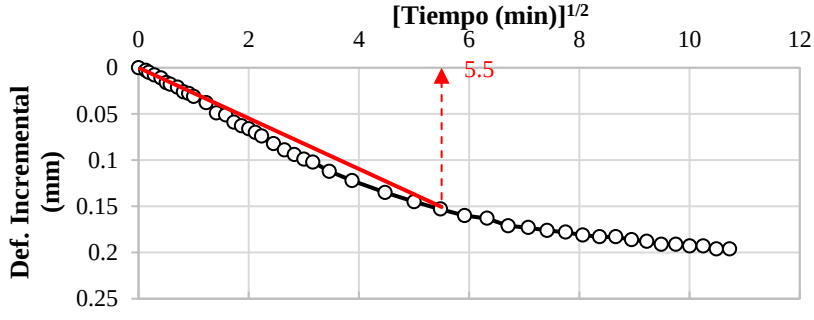
Proyecto: Estudios PAO
Localización: Bello, Antioquia
Cliente: Bioexplora S.A.S
Descripción: Arena limosa (gris)

Perforación: S7
Muestra: M4
Prof. (m): 3

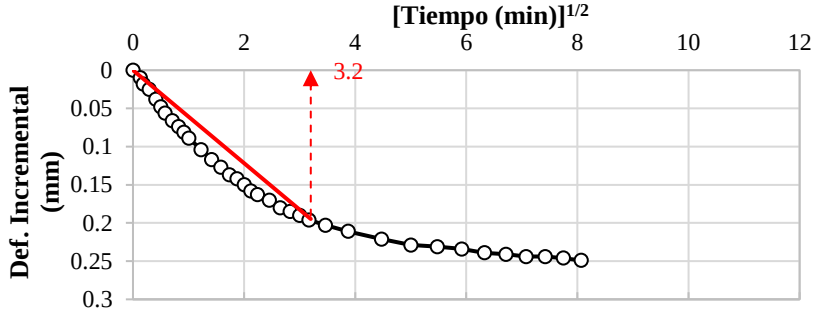
Equipo: HUMBOLDT HM-5750 Direct Residual Shear with Digital Data Acquisition
Caja de corte: Circular en acero inoxidable (Diámetro = 50 mm, Espesor de espécimen = 25 mm)
Tipo de muestra: Intacta (Tubo Shelby)
Condiciones ambientales: Especímenes reconsolidados y fallados al contenido natural de agua
Esfuerzos normales: 70, 140 y 280 kPa (Re consolidación duplicando los incrementos de carga)
Rata de corte (mm/min): 0.007, 0.02 y 0.05

Propiedades Índice	Espécimen 1 (280 kPa)		Espécimen 2 (140 kPa)		Espécimen 3 (70 kPa)	
	Inicial	Pre-corte	Inicial	Pre-corte	Inicial	Pre-corte
Contenido de agua, w (%)	27.8	20.6	24.6	22.8	23.9	21.0
Densidad húmeda, ρ_{wet} (Mg/m^3)	1.880	1.985	1.920	1.947	1.933	1.977
Relación de vacíos, e	0.836	0.640	0.752	0.702	0.732	0.654
Grado de saturación, S (%)	90.0	86.9	88.3	87.5	88.3	87.0
Masa de los solidos, M_s (g)	71.68		75.1		75.99	

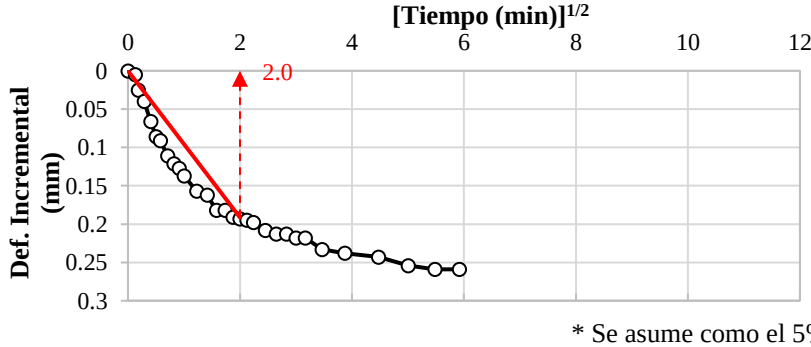
Curvas Deformación vs. Tiempo (último incremento de reconsolidación)



Espécimen 1: 130 a 280 kPa
$(t_{90})^{1/2}$ (min)$^{1/2}$= 5.5
t_{90} (min) = 30.25
t_f (min) = 350.90
d_f (mm)* = 2.5
Max. Rata (mm/min) = 0.007



Espécimen 2: 70 a 140 kPa
$(t_{90})^{1/2}$ (min)$^{1/2}$= 3.2
t_{90} (min) = 10.24
t_f (min) = 118.78
d_f (mm)* = 2.5
Max. Rata (mm/min) = 0.021



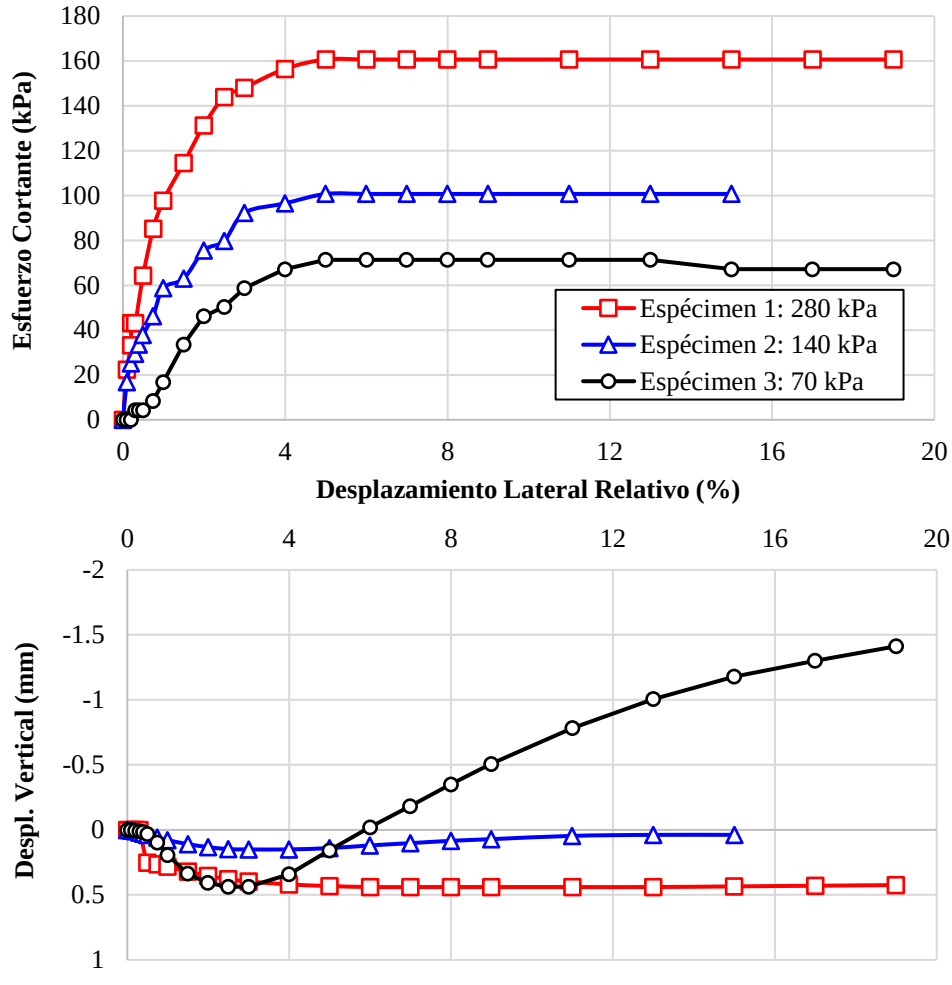
Espécimen 3: 0 a 70 kPa
$(t_{90})^{1/2}$ (min)$^{1/2}$= 2.0
t_{90} (min) = 4
t_f (min) = 46.40
d_f (mm)* = 2.5
Max. Rata (mm/min) = 0.054

* 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

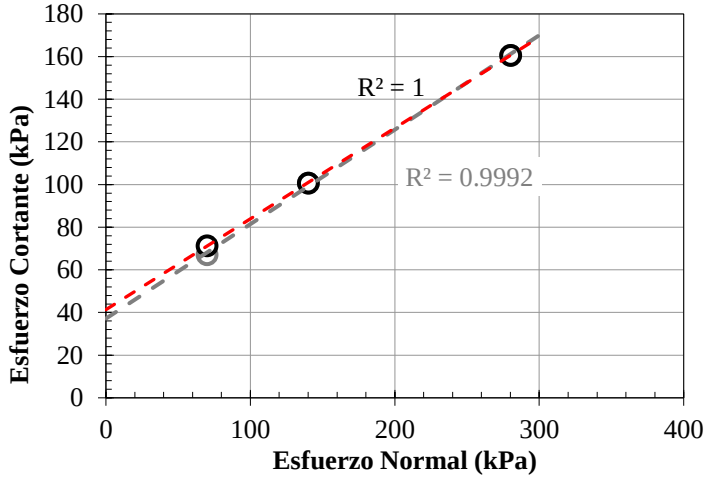


Envolvente de Falla Mohr-Coulomb

Esfuerzos de falla		
σ'_n (kPa)	τ_{max} (kPa)	τ_{res} (kPa)
280	160.6	160.6
140	100.7	100.7
70	71.3	67.1

Intercepto Envolvente
c' (kPa) = 41
c' (kPa) = 37

Angulo de fricción
ϕ'_{peak} (°) = 23
ϕ'_{res} (°) = 24



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)	280	140	70
Tiempo total de reconsolidación (min)	447.0	163.0	55.0
Deformación al final de la reconsolidación (mm)	2.646	0.709	1.118
Máxima rata de corte (mm/min)	0.007	0.021	0.054
Rata de corte empleada (mm/min)	0.007	0.020	0.050

Espécimen 1 (280 kPa)			**Espécimen 2 (140 kPa)**			**Espécimen 3 (70 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
0.10	0	22.35	0.10	0.005	16.78	0.09	0	0.00
0.20	0	33.23	0.20	0.010	25.17	0.20	0.00508	0.00
0.20	0	43.16	0.30	0.020	29.37	0.30	0.01016	4.20
0.30	0	43.16	0.39	0.028	33.56	0.39	0.01524	4.20
0.50	0.25146	64.35	0.49	0.038	37.76	0.50	0.03048	4.20
0.75	0.26416	85.11	0.74	0.058	46.15	0.74	0.09652	8.39
1.00	0.28194	97.70	1.00	0.079	58.73	0.99	0.19304	16.78
1.50	0.32004	114.48	1.50	0.109	62.93	1.49	0.33528	33.56
2.00	0.35306	131.26	2.00	0.132	75.51	1.99	0.4064	46.15
2.49	0.37846	143.85	2.49	0.147	79.71	2.49	0.43688	50.34
3.00	0.39624	148.04	3.00	0.150	92.30	3.00	0.43688	58.73
3.99	0.4191	156.43	4.00	0.150	96.49	3.99	0.34036	67.12
5.00	0.4318	160.63	4.99	0.140	100.69	4.99	0.15748	71.32
6.00	0.43942	160.63	5.99	0.119	100.69	6.00	-0.02032	71.32
7.00	0.43942	160.63	7.00	0.102	100.69	6.99	-0.18288	71.32
8.00	0.43942	160.63	8.00	0.084	100.69	8.00	-0.35052	71.32
9.00	0.43942	160.63	9.00	0.071	100.69	8.99	-0.508	71.32
11.00	0.43942	160.63	10.99	0.046	100.69	11.00	-0.7823199	71.32
12.99	0.43942	160.63	13.00	0.038	100.69	13.00	-1.00584	71.32
15.00	0.43434	160.63	15.00	0.038	100.69	15.00	-1.1785599	67.12
17.00	0.42926	160.63	0.00	0.000	0.00	16.99	-1.3004799	67.12
18.99	0.42418	160.63	0.00	0.000	0.00	18.99	-1.41224	67.12

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: Limo de baja plasticidad con arena (gris)

Perforación: S10
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) =	120.31
Masa suelo seco después de lavado (g) =	22.20
Masa de los finos (g) =	98.11
Porcentaje de finos (%) =	81.5

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	A61	29X	14X
Masa tara (g)	5.41	4.41	4.30
Masa suelo húmedo + tara (g)	21.96	21.06	21.25
Masa suelo seco + tara (g)	19.29	18.40	18.42

Contenido de agua promedio (%) = 19.4

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	0.00	0.00	100
No. 10	2	0.40	0.33	100
No. 20	0.85	1.00	0.83	99
No. 40	0.425	1.70	1.41	97
No. 60	0.25	4.00	3.32	94
No. 100	0.15	5.70	4.74	89
No. 140	0.106	4.30	3.57	86
No. 200	0.075	5.00	4.16	81.6
Fondo	0	0.10	0.08	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	0.0
ARENA (%) =	18.4
FINOS (%) =	81.6
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 = 43

Tara No.	383	102	144
Masa tara (g)	6.63	7.39	5.54
Masa suelo húmedo + tara (g)	17.67	17.97	17.83
Masa suelo seco + tara (g)	14.48	14.78	13.92
Contenido de agua (%)	40.64	43.17	46.66
Número de Golpes	33	26	13

Limite Plástico, LP = 30

Tara No.	339	A55	A7
Masa tara (g)	5.47	6.77	5.68
Masa suelo húmedo + tara (g)	17.52	16.95	16.50
Masa suelo seco + tara (g)	14.74	14.65	14.00
Contenido de agua (%)	29.99	29.19	30.05

*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**ML**

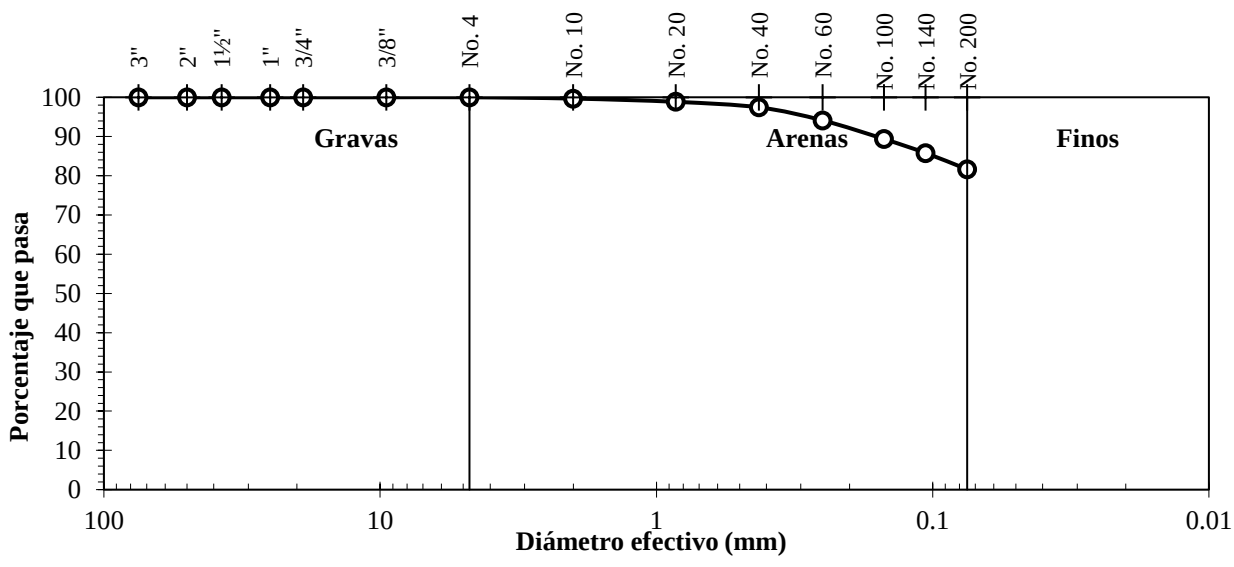
Ejecutó: LFRG
Revisó: Diego I. Galeano-Parra, MSc.

Fecha: 4/06/2021

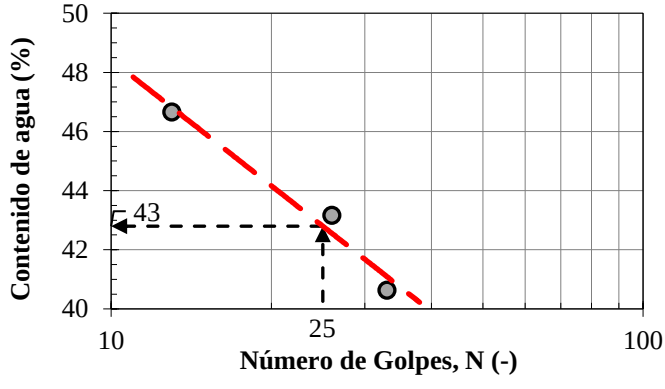
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



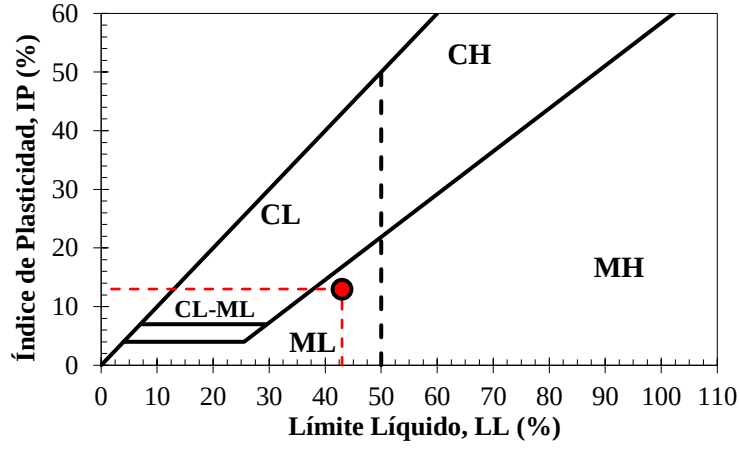
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-6.14
Intercepto =	62.57
Coef. de determinación, R^2 =	0.967
Limite Liquido, LL =	43

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 43
Limite Plástico, LP = 30
Índice de Plasticidad, IP = 13



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: Limo arenoso de baja plasticidad (gris)

Perforación: S7
Muestra: M2
Prof. (m): 1

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) =	120.16
Masa suelo seco después de lavado (g) =	59.08
Masa de los finos (g) =	61.08
Porcentaje de finos (%) =	50.8

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	42	28	61
Masa tara (g)	5.46	5.76	6.90
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.98	22.67	22.12
Masa suelo seco + tara (g)	18.51	18.25	18.19

Contenido de agua promedio (%) = 34.8

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	0.00	0.00	100
No. 10	2	3.64	3.03	97
No. 20	0.85	19.84	16.51	80
No. 40	0.425	17.11	14.24	66
No. 60	0.25	7.24	6.03	60
No. 100	0.15	5.68	4.73	55
No. 140	0.106	2.64	2.20	53
No. 200	0.075	2.74	2.28	51.0
Fondo	0	0.10	0.08	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	0.0
ARENA (%) =	49.0
FINOS (%) =	51.0
ERROR (%) =	0.2

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A.
D_{30} (mm) =	N.A.
D_{60} (mm) =	0.25

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

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 36

Tara No.	415	135	40
Masa tara (g)	6.27	6.01	6.07
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.37	16.06	16.04
Masa suelo seco + tara (g)	13.83	13.35	13.22
Contenido de agua (%)	33.60	36.92	39.44
Número de Golpes	30	24	17

Limite Plástico, LP = 34

Tara No.	A16	381	A38
Masa tara (g)	7.35	6.51	5.91
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.74	16.62	16.87
Masa suelo seco + tara (g)	14.32	14.04	14.07
Contenido de agua (%)	34.72	34.26	34.31

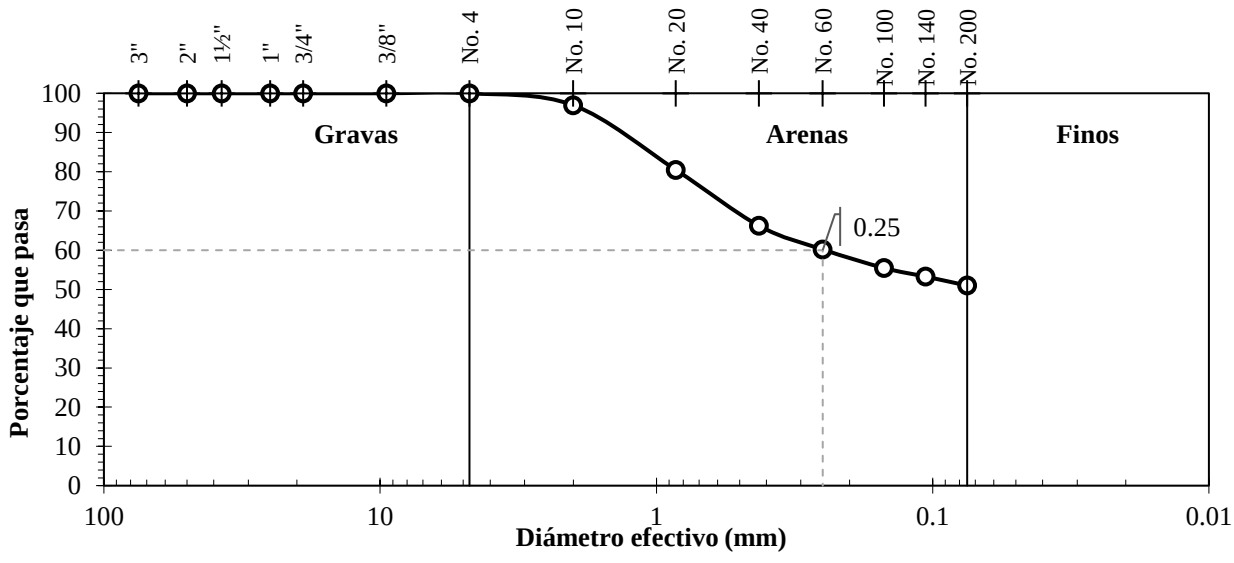
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	ML

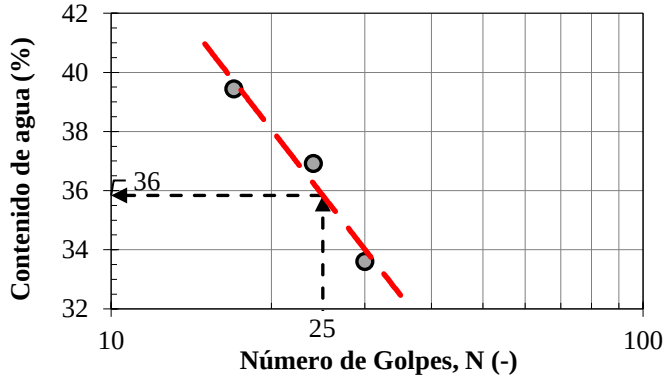
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



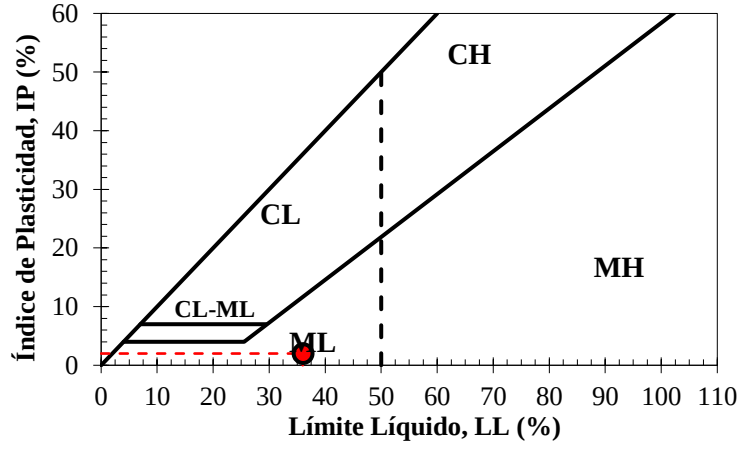
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-10.03
Intercepto =	68.13
Coef. de determinación, R^2 =	0.960
Limite Liquido, LL =	36

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 36
Limite Plástico, LP = 34
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 con grava (gris)

Perforación: S10
Muestra: M8
Prof. (m): 7

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) =	130.58
Masa suelo seco después de lavado (g) =	111.83
Masa de los finos (g) =	18.75
Porcentaje de finos (%) =	14.4

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	381X	A22	29
Masa tara (g)	6.38	5.57	5.92
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.23	22.55	22.09
Masa suelo seco + tara (g)	20.52	20.76	20.31

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	26.32	20.16	80
No. 4	4.75	16.02	12.27	68
No. 10	2	22.70	17.38	50
No. 20	0.85	18.92	14.49	36
No. 40	0.425	10.98	8.41	27
No. 60	0.25	6.22	4.76	23
No. 100	0.15	6.26	4.79	18
No. 140	0.106	2.38	1.82	16
No. 200	0.075	1.89	1.45	14.5
Fondo	0	0.08	0.06	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	32.4
ARENA (%) =	53.1
FINOS (%) =	14.5
ERROR (%) =	0.1

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	N.A.
D_{30} (mm) =	0.55
D_{60} (mm) =	3.32

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

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 19

Tara No.	A51	A611	A30
Masa tara (g)	5.27	5.40	7.45
Masa suelo húmedo + tara (g)	15.27	16.19	18.15
Masa suelo seco + tara (g)	13.81	14.46	16.36
Contenido de agua (%)	17.10	19.09	20.09
Número de Golpes	35	25	14

Limite Plástico, LP = 17

Tara No.	84	A56	A4
Masa tara (g)	5.80	5.80	5.83
Masa suelo húmedo + tara (g)	15.84	16.17	16.20
Masa suelo seco + tara (g)	14.36	14.65	14.69
Contenido de agua (%)	17.29	17.18	17.04

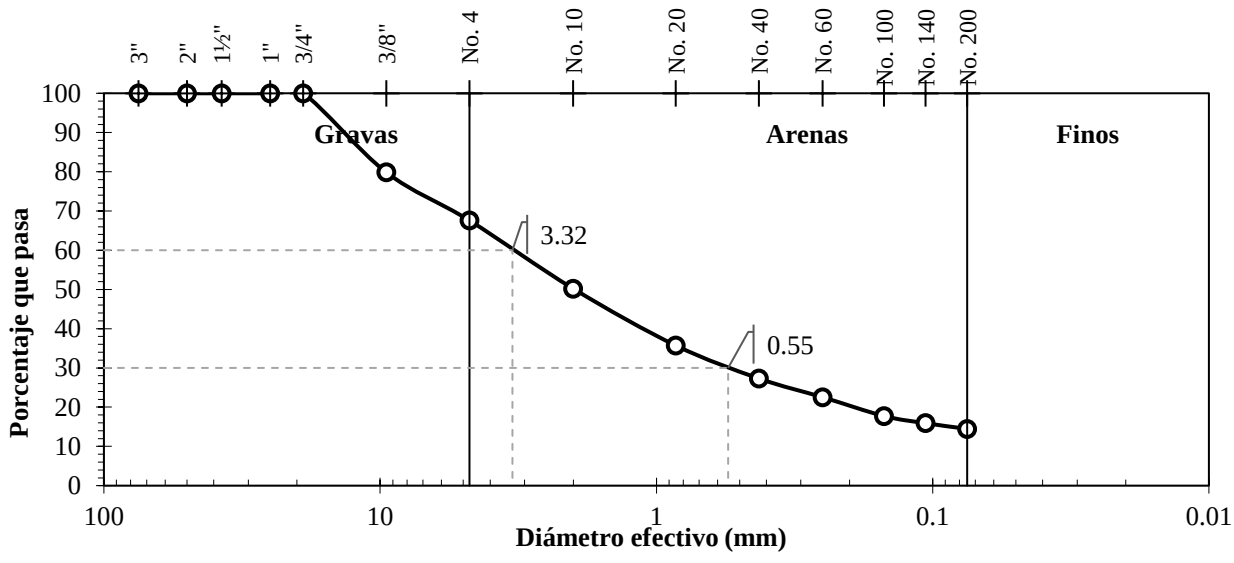
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**SM**

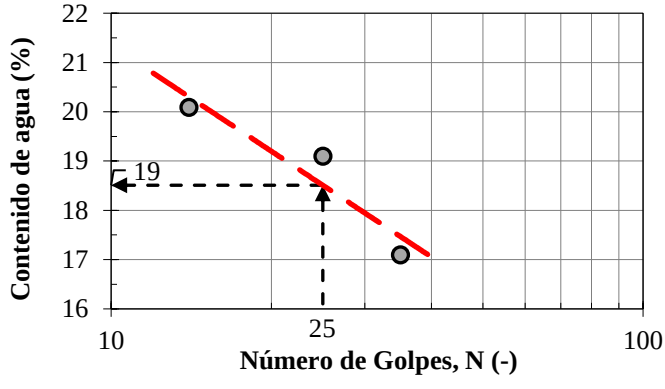
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



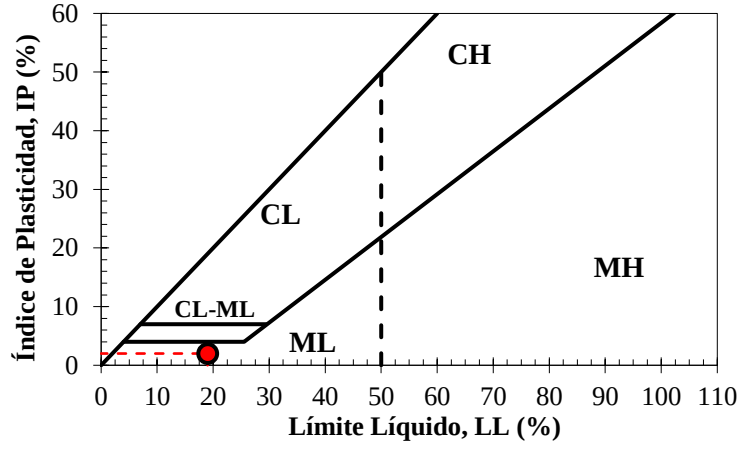
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-3.10
Intercepto =	28.48
Coef. de determinación, R^2 =	0.887
Limite Liquido, LL =	19

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 19
Limite Plástico, LP = 17
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: Arcilla arenosa de baja plasticidad (gris)

Perforación: S7
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) =	120.28
Masa suelo seco después de lavado (g) =	45.21
Masa de los finos (g) =	75.07
Porcentaje de finos (%) =	62.4

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	315	128	385X
Masa tara (g)	6.24	6.20	6.40
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.20	22.12	22.71
Masa suelo seco + tara (g)	15.62	15.52	15.95

Contenido de agua promedio (%) = 70.6

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz No.	Tamaño (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Pasa (%)
3"	75	0.00	0.0	100
2"	50	0.00	0.0	100
1½"	37.5	0.00	0.0	100
1"	25	0.00	0.0	100
3/4"	19	0.00	0.0	100
3/8"	9.5	0.00	0.0	100
No. 4	4.75	0.16	0.1	100
No. 10	2	3.36	2.8	97
No. 20	0.85	12.00	10.0	87
No. 40	0.425	12.53	10.4	77
No. 60	0.25	6.38	5.3	71
No. 100	0.15	5.78	4.8	67
No. 140	0.106	2.70	2.2	64
No. 200	0.075	2.13	1.8	62.6
Fondo	0	0.05	0.04	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	0.1
ARENA (%) =	37.3
FINOS (%) =	62.6
ERROR (%) =	0.3

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 = 37

Tara No.	60	106	126
Masa tara (g)	6.14	5.71	5.58
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.50	15.73	16.35
Masa suelo seco + tara (g)	13.77	12.98	13.33
Contenido de agua (%)	35.78	37.83	38.97
Número de Golpes	31	23	17

Limite Plástico, LP = 18

Tara No.	438	98	360
Masa tara (g)	7.35	6.12	6.43
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.74	16.24	12.75
Masa suelo seco + tara (g)	15.34	14.70	11.82
Contenido de agua (%)	17.52	17.95	17.25

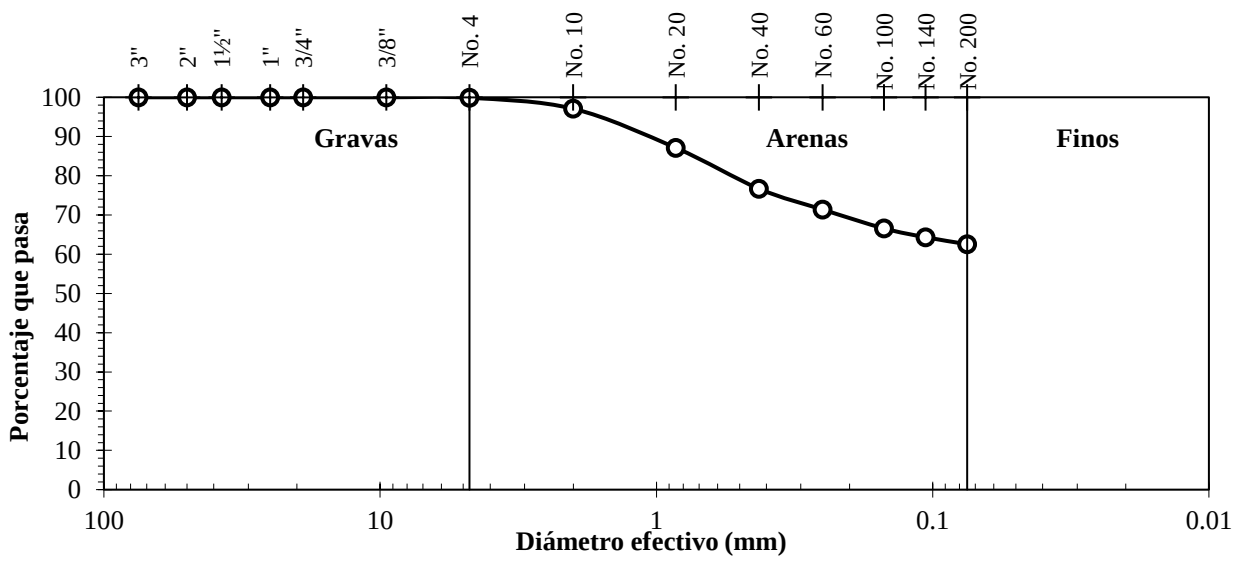
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**CL**

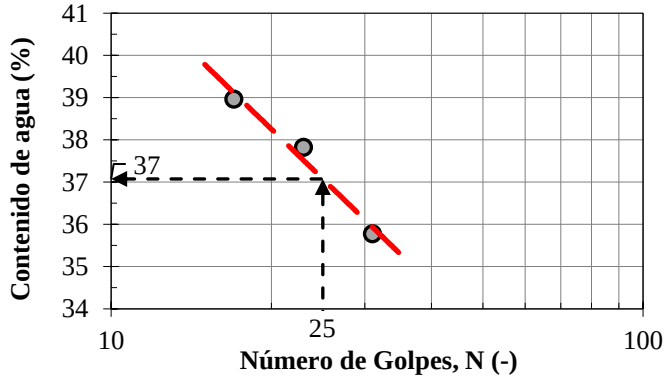
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



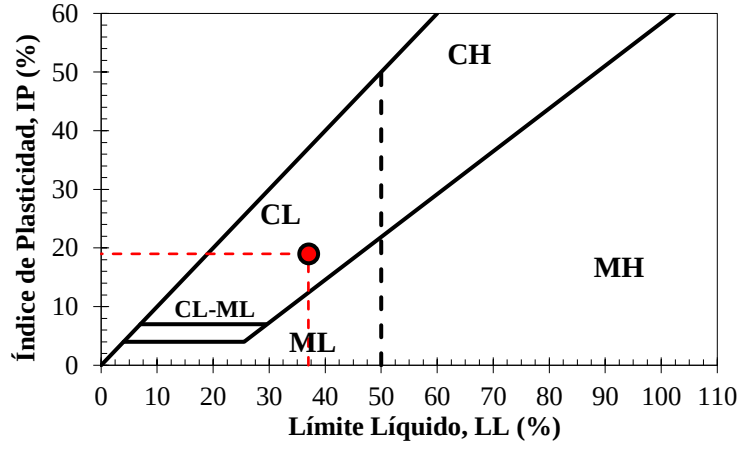
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-5.30
Intercepto =	54.15
Coef. de determinación, R^2 =	0.973
Limite Liquido, LL =	37

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 37
Limite Plástico, LP = 18
Índice de Plasticidad, IP = 19



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: Arcilla de baja plasticidad con arena (gris)

Perforación: S11
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) =	126.27
Masa suelo seco después de lavado (g) =	36.73
Masa de los finos (g) =	89.54
Porcentaje de finos (%) =	70.9

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	30	336	348
Masa tara (g)	3.86	7.97	5.59
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.71	22.31	22.19
Masa suelo seco + tara (g)	18.87	19.35	18.81

Contenido de agua promedio (%) = 25.7

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	1.04	0.82	99
No. 10	2	1.20	0.95	98
No. 20	0.85	5.21	4.13	94
No. 40	0.425	9.97	7.90	86
No. 60	0.25	11.60	9.19	77
No. 100	0.15	5.62	4.45	73
No. 140	0.106	1.07	0.85	72
No. 200	0.075	0.99	0.78	70.9
Fondo	0	0.00	0.00	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	0.8
ARENA (%) =	28.2
FINOS (%) =	70.9
ERROR (%) =	0.1

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 = 40

Tara No.	340	8	362
Masa tara (g)	7.74	6.08	6.20
Masa suelo húmedo + tara (g)	18.90	17.46	18.36
Masa suelo seco + tara (g)	15.84	14.25	14.75
Contenido de agua (%)	37.78	39.29	42.22
Número de Golpes	35	27	15

Limite Plástico, LP = 25

Tara No.	392	144	407
Masa tara (g)	5.76	5.44	6.80
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.96	16.51	17.93
Masa suelo seco + tara (g)	14.73	14.34	15.75
Contenido de agua (%)	24.86	24.38	24.36

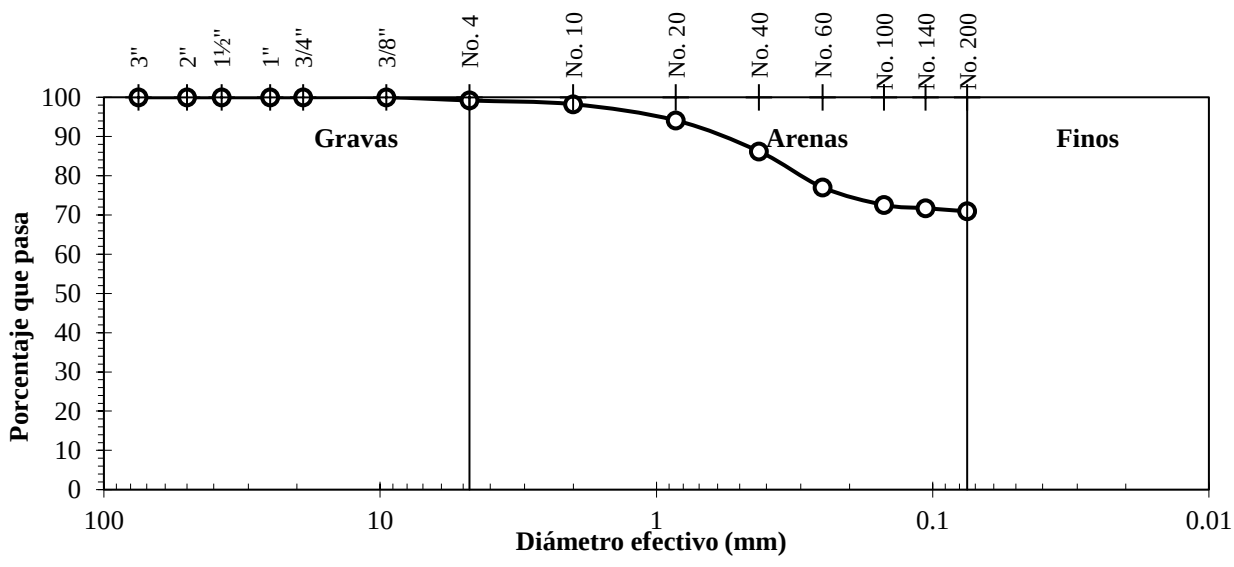
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**CL**

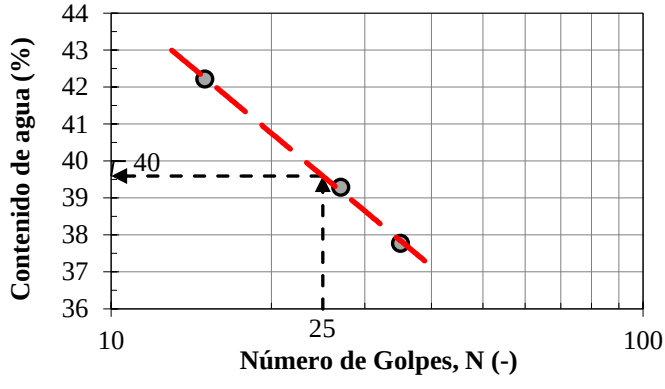
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



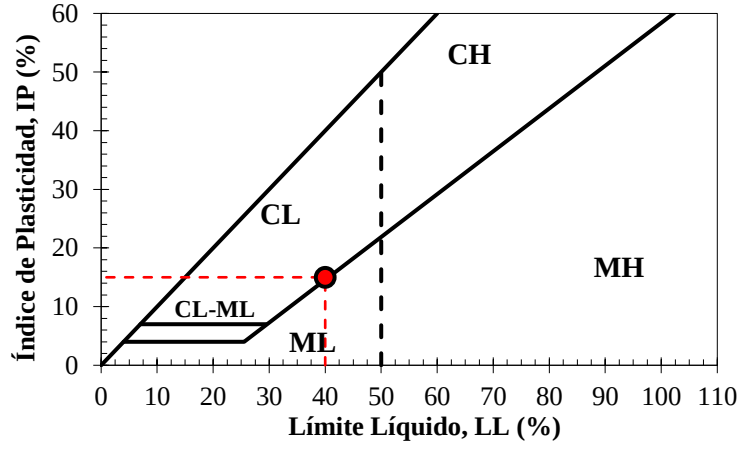
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-5.20
Intercepto =	56.34
Coef. de determinación, R^2 =	0.999
Limite Liquido, LL =	40

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 40
Limite Plástico, LP = 25
Índice de Plasticidad, IP = 15



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: Arcilla de baja plasticidad con arena (gris)

Perforación: S10
Muestra: M2
Prof. (m): 1

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) =	126.11
Masa suelo seco después de lavado (g) =	33.82
Masa de los finos (g) =	92.29
Porcentaje de finos (%) =	73.2

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	A6	101	312
Masa tara (g)	5.91	5.99	6.65
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.36	22.38	22.02
Masa suelo seco + tara (g)	19.40	19.44	19.25

Contenido de agua promedio (%) = 21.9

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	0.24	0.19	100
No. 10	2	0.26	0.21	100
No. 20	0.85	1.52	1.21	98
No. 40	0.425	4.01	3.18	95
No. 60	0.25	5.72	4.54	91
No. 100	0.15	12.07	9.57	81
No. 140	0.106	5.76	4.57	77
No. 200	0.075	4.12	3.27	73.3
Fondo	0	0.08	0.06	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	0.2
ARENA (%) =	26.5
FINOS (%) =	73.3
ERROR (%) =	0.1

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 = 37

Tara No.	A17	311	89
Masa tara (g)	5.80	6.50	5.66
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.40	17.66	15.72
Masa suelo seco + tara (g)	13.69	14.64	12.91
Contenido de agua (%)	34.35	37.10	38.76
Número de Golpes	35	28	19

Limite Plástico, LP = 17

Tara No.	91	371	374
Masa tara (g)	5.79	6.29	6.62
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.01	16.67	16.66
Masa suelo seco + tara (g)	14.49	15.12	15.20
Contenido de agua (%)	17.47	17.55	17.02

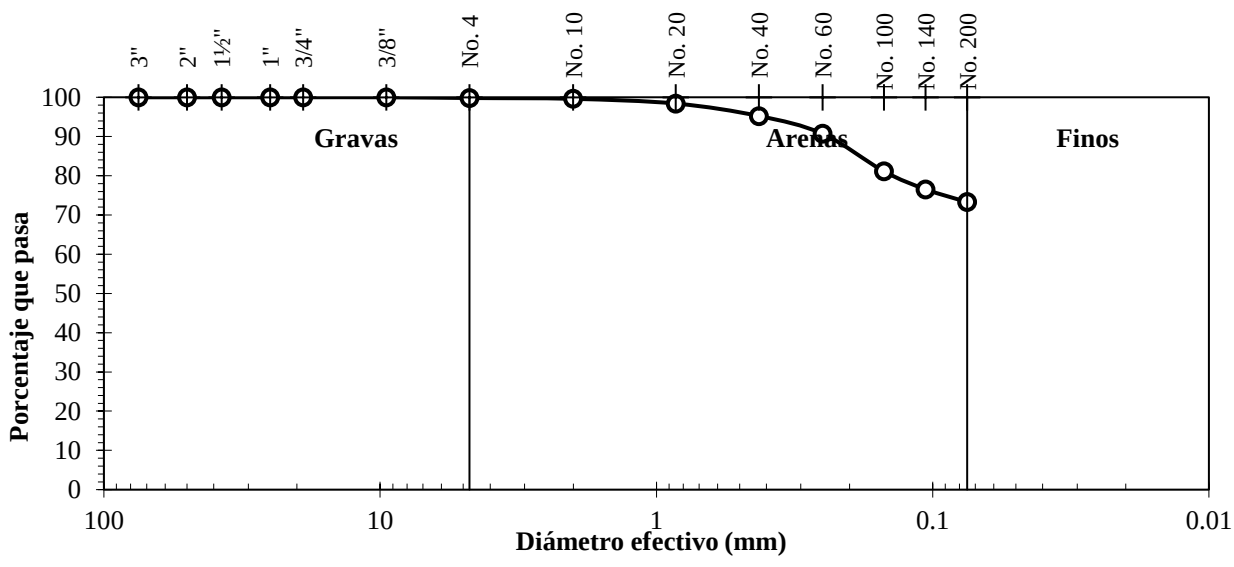
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**CL**

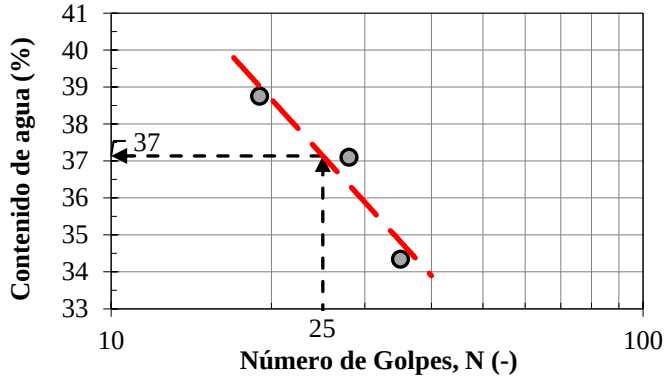
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



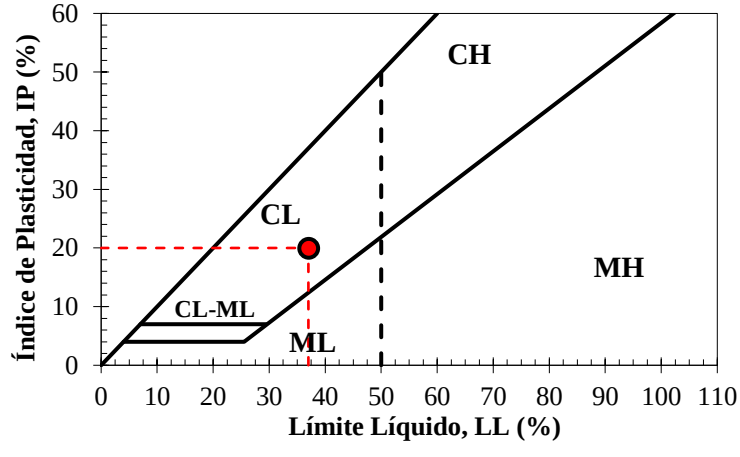
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-6.89
Intercepto =	59.33
Coef. de determinación, R^2 =	0.914
Limite Liquido, LL =	37

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 37
Limite Plástico, LP = 17
Índice de Plasticidad, IP = 20



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: Arcilla arenosa de baja plasticidad (gris)

Perforación: S13
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) =	120.23
Masa suelo seco después de lavado (g) =	40.05
Masa de los finos (g) =	80.18
Porcentaje de finos (%) =	66.7

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	428	57	A69
Masa tara (g)	7.17	6.52	5.95
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.55	20.29	25.84
Masa suelo seco + tara (g)	19.03	17.23	21.43

Contenido de agua promedio (%) = 28.9

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	0.21	0.17	100
No. 10	2	1.86	1.55	98
No. 20	0.85	7.61	6.33	92
No. 40	0.425	8.42	7.00	85
No. 60	0.25	5.47	4.55	80
No. 100	0.15	7.25	6.03	74
No. 140	0.106	4.63	3.85	71
No. 200	0.075	4.40	3.66	66.9
Fondo	0	0.16	0.13	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	0.2
ARENA (%) =	33.0
FINOS (%) =	66.9
ERROR (%) =	0.1

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 = 47

Tara No.	A57	A43	116
Masa tara (g)	7.37	6.07	5.81
Masa suelo húmedo + tara (g)	17.87	16.04	15.77
Masa suelo seco + tara (g)	14.73	12.84	12.32
Contenido de agua (%)	42.66	47.27	53.00
Número de Golpes	32	26	16

Limite Plástico, LP = 18

Tara No.	426	111	124
Masa tara (g)	5.55	6.03	5.99
Masa suelo húmedo + tara (g)	14.96	14.20	15.96
Masa suelo seco + tara (g)	13.50	12.94	14.40
Contenido de agua (%)	18.36	18.23	18.55

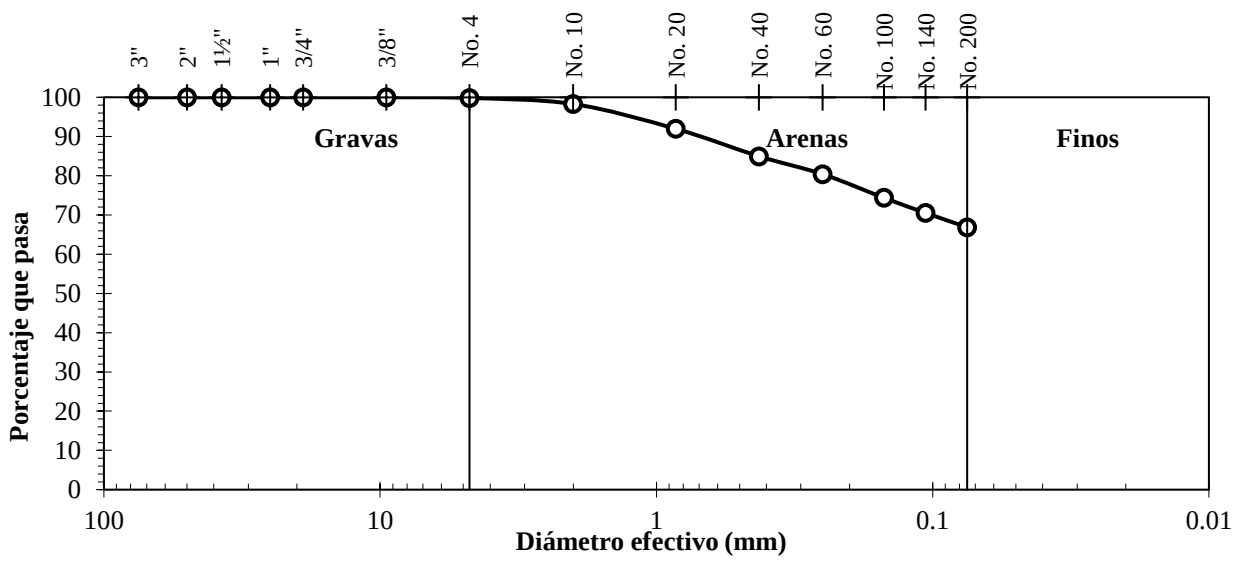
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	**CL**

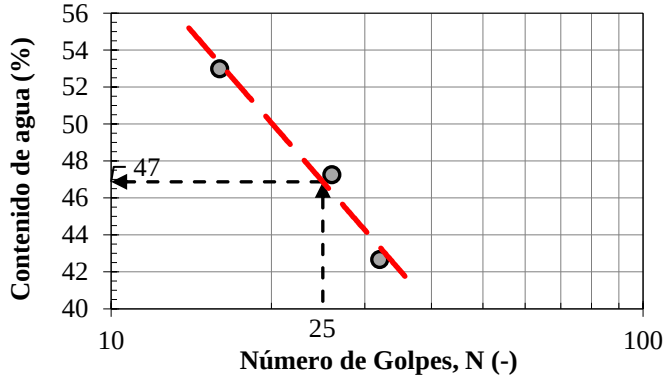
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



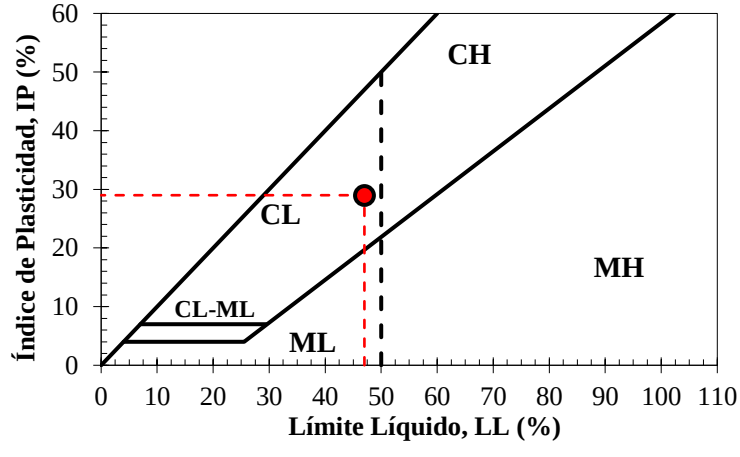
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-14.35
Intercepto =	93.08
Coef. de determinación, R^2 =	0.973
Limite Liquido, LL =	47

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 47
Limite Plástico, LP = 18
Índice de Plasticidad, IP = 29



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 mal gradada con limo y grava (gris)

Perforación: S11
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) =	150.63
Masa suelo seco después de lavado (g) =	136.62
Masa de los finos (g) =	14.01
Porcentaje de finos (%) =	9.3

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	365	E12	12
Masa tara (g)	6.72	5.59	6.28
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.65	22.17	22.24
Masa suelo seco + tara (g)	20.85	20.23	20.47

Contenido de agua promedio (%) = 12.8

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	38.46	25.53	74
No. 4	4.75	20.99	13.93	61
No. 10	2	17.13	11.37	49
No. 20	0.85	24.58	16.32	33
No. 40	0.425	25.29	16.79	16
No. 60	0.25	4.86	3.23	13
No. 100	0.15	3.44	2.28	11
No. 140	0.106	1.00	0.66	10
No. 200	0.075	0.80	0.53	9.3
Fondo	0	0.00	0.00	

Resultados Gradación	
GRAVA (%) =	39.5
ARENA (%) =	51.2
FINOS (%) =	9.3
ERROR (%) =	0.1

Diámetros Efectivos	
D_{10} (mm) =	0.13
D_{30} (mm) =	0.75
D_{60} (mm) =	4.80

Coeficiente de Uniformidad	
Cu =	36.9
Coeficiente de Curvatura	
Cc =	0.9

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 22

Tara No.	410	103	102
Masa tara (g)	7.73	5.60	7.27
Masa suelo húmedo + tara (g)	18.60	15.75	17.45
Masa suelo seco + tara (g)	16.69	13.91	15.55
Contenido de agua (%)	21.32	22.14	22.95
Número de Golpes	35	23	16

Limite Plástico, LP = 21

Tara No.	342	118	A47
Masa tara (g)	5.54	6.01	5.76
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.64	18.03	18.04
Masa suelo seco + tara (g)	14.76	16.00	15.90
Contenido de agua (%)	20.39	20.32	21.10

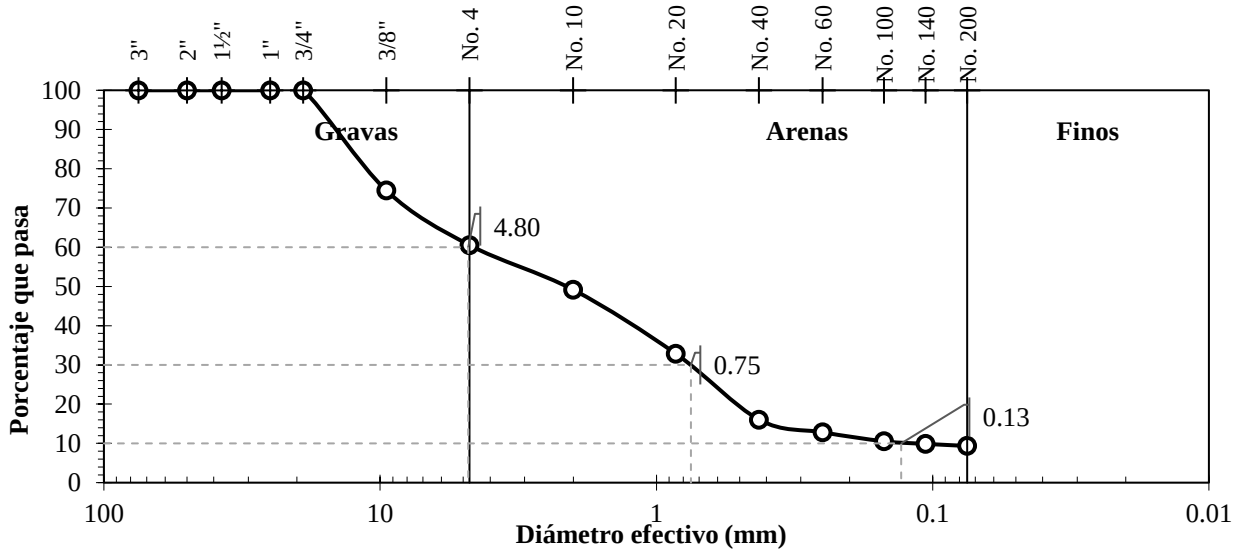
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S.	SP-SM

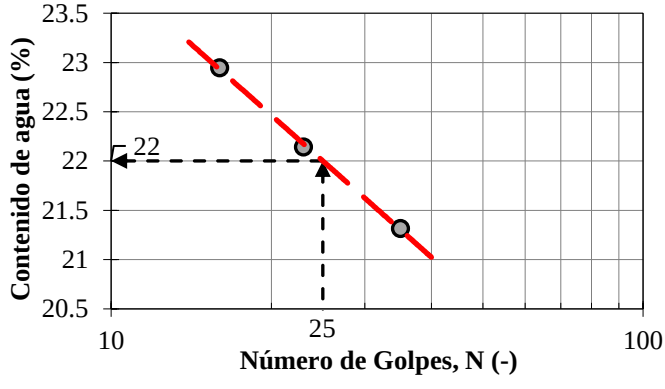
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



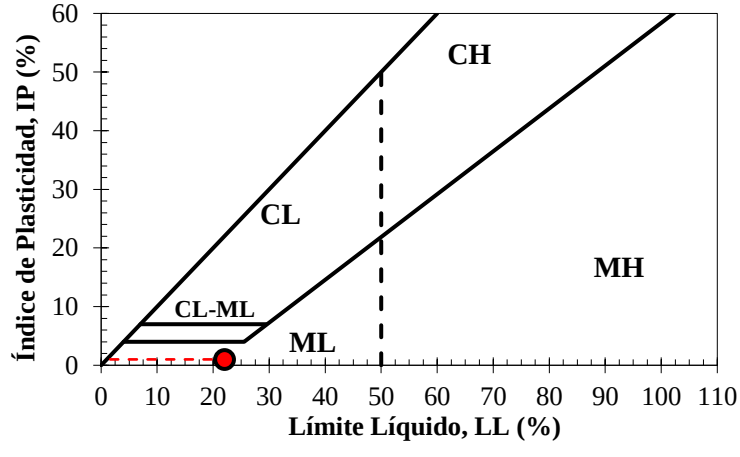
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-2.08
Intercepto =	28.69
Coef. de determinación, R^2 =	0.999
Limite Liquido, LL =	22

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 22
Limite Plástico, LP = 21
Índice de Plasticidad, IP = 1



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: Arcilla arenosa de baja plasticidad (gris)

Perforación: S13
Muestra: M1
Prof. (m): 0-1

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) =	124.69
Masa suelo seco después de lavado (g) =	62.22
Masa de los finos (g) =	62.47
Porcentaje de finos (%) =	50.1

Contenido Natural de Agua*

Tara No.	316	13	87
Masa tara (g)	6.10	5.55	5.59
Masa suelo húmedo + tara (g)	22.89	22.44	22.13
Masa suelo seco + tara (g)	19.96	19.46	19.30

Contenido de agua promedio (%) = 21.1

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	0.28	0.22	100
No. 10	2	4.60	3.69	96
No. 20	0.85	14.68	11.77	84
No. 40	0.425	13.93	11.17	73
No. 60	0.25	9.55	7.66	65
No. 100	0.15	10.18	8.16	57
No. 140	0.106	4.53	3.63	54
No. 200	0.075	4.33	3.47	50.2
Fondo	0	0.14	0.11	

Resultados Gradación

GRAVA (%) =	0.2
ARENA (%) =	49.6
FINOS (%) =	50.2
ERROR (%) =	0.0

Diámetros Efectivos

D_{10} (mm) =	N.A.
D_{30} (mm) =	N.A.
D_{60} (mm) =	0.19

Coeficiente de Uniformidad

Cu = N.A.

Coeficiente de Curvatura

Cc = N.A.

LIMITES DE ATTERBERG

Limite Liquido, LL = 32

Tara No.	433	115	A55
Masa tara (g)	7.38	5.73	6.75
Masa suelo húmedo + tara (g)	18.28	17.53	19.60
Masa suelo seco + tara (g)	15.65	14.63	16.32
Contenido de agua (%)	31.80	32.58	34.27
Número de Golpes	32	22	15

Limite Plástico, LP = 22

Tara No.	45	63	19
Masa tara (g)	5.82	5.65	5.77
Masa suelo húmedo + tara (g)	16.71	17.21	16.27
Masa suelo seco + tara (g)	14.71	15.14	14.34
Contenido de agua (%)	22.50	21.81	22.52

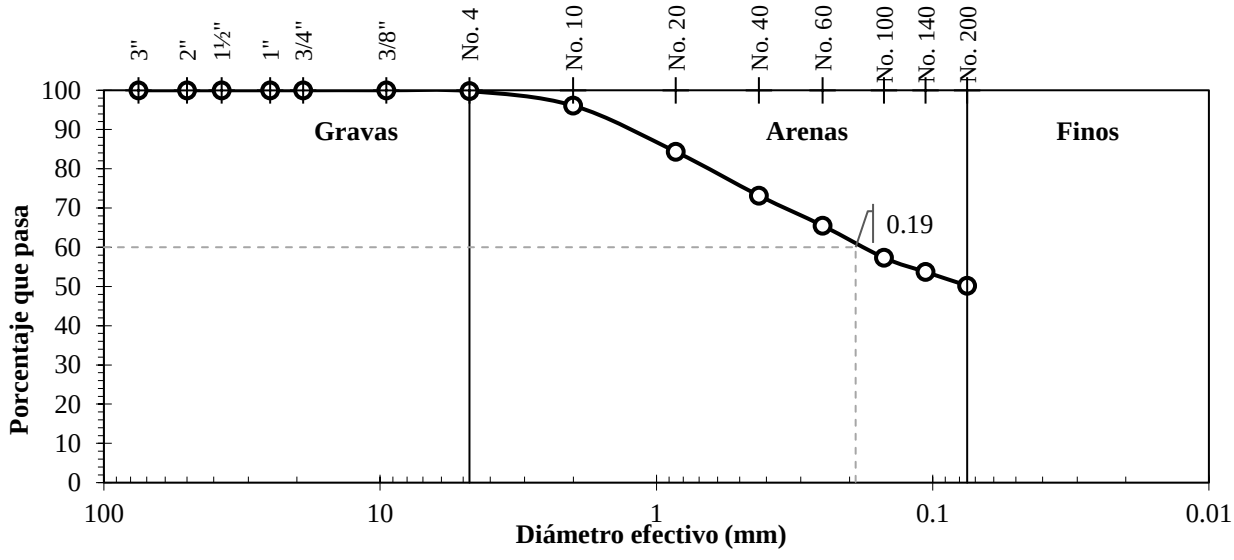
*Se determina en el estado entregado al laboratorio

Clasificación U.S.C.S. **CL**

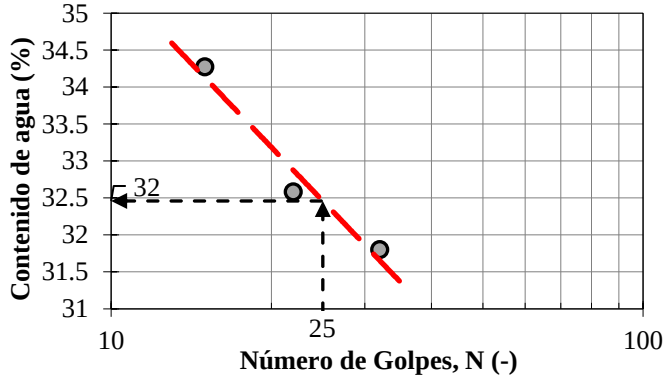
Laboratorio de Geotecnia
Cr. 81A 47-73, Medellín, Colombia

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

Curva Granulométrica



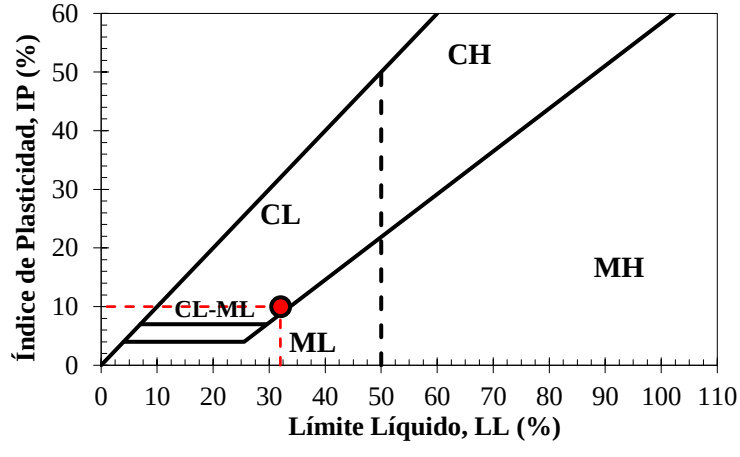
Curva de Flujo (Limite Liquido)



Regresión Lineal	
Pendiente =	-3.27
Intercepto =	42.98
Coef. de determinación, R^2 =	0.960
Limite Liquido, LL =	32

Carta de Plasticidad (Fracción Fina)

Limite Liquido, LL = 32
Limite Plástico, LP = 22
Índice de Plasticidad, IP = 10



Notas y Comentarios:

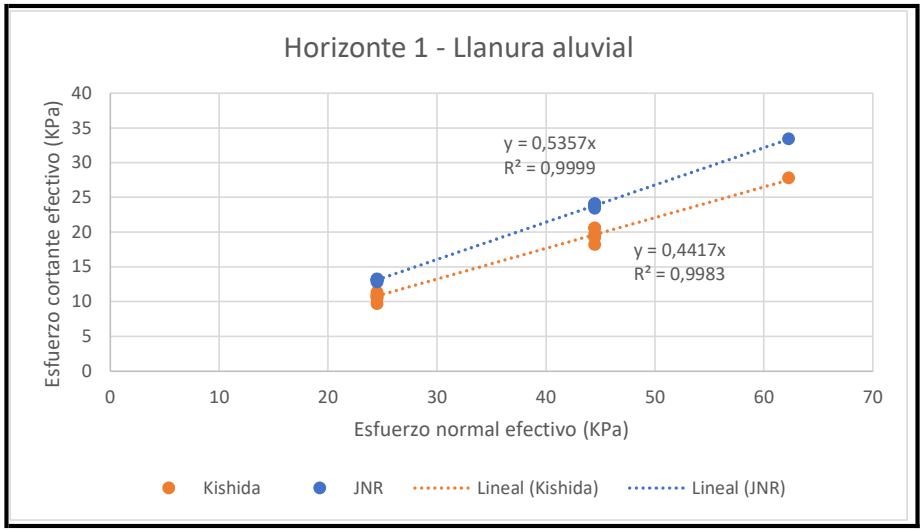
Anexo 3. Correlación con el SPT

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						
S6 - M2	1,225	6	3	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	5	23,1	28,0	10,44	13,02	10990
S6 - M4	3,225	11	3	20	64,5	2,205	62,30	1,269	0,625	0,75	7	24,0	28,2	27,79	33,44	11861
S7 - M2	1,225	7	3	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	6	23,7	28,1	10,77	13,11	11572
S7 - M3	2,225	8	3	20	44,5	0	44,50	1,496	0,625	0,75	6	23,4	28,1	19,23	23,71	11240
S8 - M2	1,225	8	3	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	7	24,3	28,3	11,08	13,20	12153
S8 - M3	2,225	11	3	20	44,5	0	44,50	1,496	0,625	0,75	8	24,8	28,4	20,58	24,11	12642
S9 - M2	1,225	9	2,7	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	8	24,9	28,5	11,38	13,29	12735
S9 - M3	2,225	11	2,7	20	44,5	0	44,50	1,496	0,625	0,75	8	24,8	28,4	20,58	24,11	12642
S10 - M2	1,225	7	2,5	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	6	23,7	28,1	10,77	13,11	11572
S10 - M3	2,225	9	2,5	20	44,5	0	44,50	1,496	0,625	0,75	6	23,9	28,2	19,70	23,84	11707
S11 - M2	1,225	4	2,5	20	24,5	0	24,50	1,861	0,625	0,75	3	21,6	27,7	9,70	12,84	9827
S11 - 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



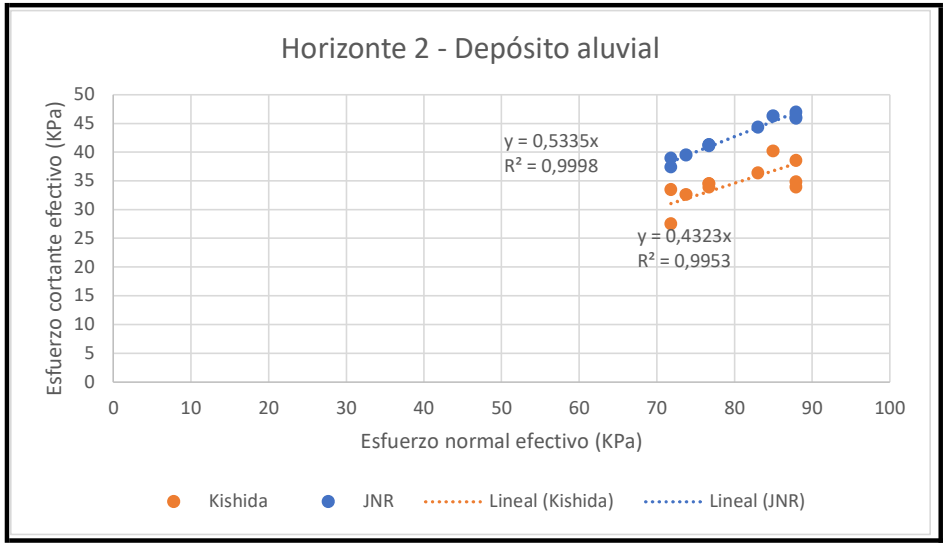
Correlación	φ' (°)
JNR	28,2
Kishida	23,8

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 arcilloso a arcillo 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						
S6 - M5	4,225	12	3	21	88,725	12,005	76,72	1,073	0,625	0,85	7	24,2	28,3	34,56	41,28	12061
S6 - M6	5,225	7	3	21	109,725	21,805	87,92	0,943	0,625	0,85	4	21,6	27,7	34,85	46,08	9838
S7 - M5	4,225	11	3	21	88,725	12,005	76,72	1,073	0,625	0,85	6	23,9	28,2	33,92	41,10	11681
S7 - M6	5,225	12	3	21	109,725	21,805	87,92	0,943	0,625	0,85	6	23,7	28,1	38,54	47,00	11508
S8 - M5	4,225	12	3	21	88,725	12,005	76,72	1,073	0,625	0,85	7	24,2	28,3	34,56	41,28	12061
S8 - M6	5,225	6	3	21	109,725	21,805	87,92	0,943	0,625	0,85	3	21,1	27,6	33,98	45,89	9504
S9 - M5	4,225	11	2,7	21	88,725	14,945	73,78	1,073	0,625	0,85	6	23,9	28,2	32,62	39,52	11681
S9 - M6	5,225	17	2,7	21	109,725	24,745	84,98	0,943	0,625	0,85	9	25,3	28,6	40,20	46,33	13179
S10 - M5	4,225	14	2,5	21	88,725	16,905	71,82	1,073	0,625	0,85	8	25,0	28,5	33,47	38,99	12822
S10 - M6	5,225	12	2,5	21	109,725	26,705	83,02	0,943	0,625	0,85	6	23,7	28,1	36,39	44,38	11508
S11 - M5	4,225	5	2,5	21	88,725	16,905	71,82	1,073	0,625	0,85	3	21,0	27,5	27,53	37,44	9401



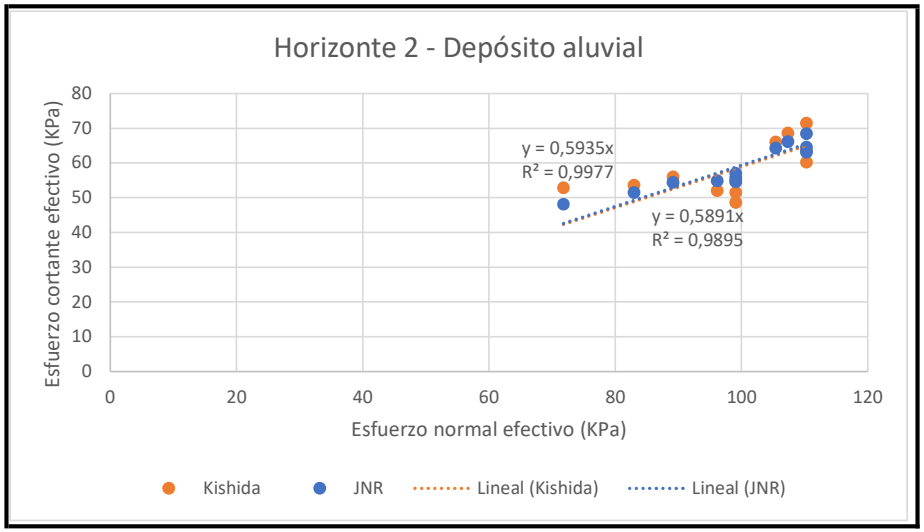
Correlación	φ' (°)
JNR	28,1
Kishida	23,4

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 3 - Depósito aluvial - Material arenoso a areno gravoso

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						
S6 - M7	6,225	20	3	21	130,725	31,605	99,12	0,836	0,625	0,95	10	26,1	28,9	48,64	54,63	14118
S6 - M8	7,225	52	3	21	151,725	41,405	110,32	0,833	0,625	0,95	26	32,9	31,8	71,46	68,47	24655
S7 - M7	6,225	31	3	21	130,725	31,605	99,12	0,836	0,625	0,95	15	28,9	29,9	54,65	56,96	17758
S7 - M8	7,225	30	3	21	151,725	41,405	110,32	0,833	0,625	0,95	15	28,6	29,8	60,20	63,14	17397
S8 - M7	7,225	36	3	21	151,725	41,405	110,32	0,833	0,625	0,95	18	29,9	30,3	63,49	64,57	19376
S9 - M7	6,225	25	3	21	130,725	31,605	99,12	0,836	0,625	0,95	12	27,5	29,3	51,50	55,68	15772
S9 - M8	7,225	50	2,7	21	151,725	44,345	107,38	0,833	0,625	0,95	25	32,6	31,6	68,64	66,16	23995
S10 - M7	6,225	29	2,7	21	130,725	34,545	96,18	0,836	0,625	0,95	14	28,4	29,7	52,03	54,86	17096
S10 - M8	7,225	47	2,5	21	151,725	46,305	105,42	0,833	0,625	0,95	23	32,1	31,4	66,00	64,25	23005
S11 - M5	4,225	64	2,5	21	88,725	16,905	71,82	1,073	0,625	0,85	36	36,4	33,8	52,87	48,16	31827
S11 - M6	5,225	51	2,5	21	109,725	26,705	83,02	0,943	0,625	0,85	26	32,9	31,8	53,65	51,46	24536
S11 - M7	5,775	50	2,5	21	121,275	32,095	89,18	0,882	0,625	0,85	23	32,1	31,4	55,97	54,42	23117



Correlación	φ' (°)
JNR	30,7
Kishida	30,5

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 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, Largo Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	0,70
c' (KPa)	0,0	L	1,10
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
E (KPa)	11600		
μ	0,40		

NF	2,50

Kv (kN/m3)	23209

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,33	1,34
Sq	1,16	1,28
Sy	1,16	0,75
dc	1,46	1,38
dq	1,23	1,30
dy	1,23	1,00
Qult (KPa)	418,80	434,23
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	139,60	144,74

B/L	0,64
D/B	1,43
kp	2,56
k	0,96

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	0,70
qo (KPa)	356
Es (Kpa)	11600
μ	0,40
m (L/B)	1,57
α	1,39
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, Largo Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	0,70
c' (KPa)	0,0	L	1,30
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
E (KPa)	11600		
μ	0,40		

NF	2,00

Kv (kN/m3)	23209

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,28	1,29
Sq	1,14	1,24
Sy	1,14	0,78
dc	1,46	1,38
dq	1,23	1,30
dy	1,23	1,00
Qult (KPa)	409,77	423,23
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	136,59	141,08

B/L	0,54
D/B	1,43
kp	2,56
k	0,96

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	0,70
qo (KPa)	332
Es (Kpa)	11600
μ	0,40
m (L/B)	1,86
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, Largo Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	0,70
c' (KPa)	0,0	L	1,52
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
E (KPa)	11600		
μ	0,40		

NF	2,50

Kv (kN/m3)	23209

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	1,20
Sy	1,12	0,82
dc	1,46	1,38
dq	1,23	1,30
dy	1,23	1,00
Qult (KPa)	402,58	414,47
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	134,19	138,16

B/L	0,46
D/B	1,43
kp	2,56
k	0,96

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	0,70
qo (KPa)	312
Es (Kpa)	11600
μ	0,40
m (L/B)	2,17
α	1,58
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 Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	1,00
c' (KPa)	0,0	L	1,00
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	20,0		
E (KPa)	11600,0		
μ	0,4		
H (m)	0,8		
dw (m)	1,5		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,50

Kv (kN/m3)	16246

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,51	1,53
Sq	1,26	1,44
Sy	1,26	0,60
dc	1,32	1,40
dq	1,16	1,31
dy	1,16	1,00
Qult (KPa)	462,07	493,59
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	154,02	164,53

B/L	1,00
D/B	1,00
kp	2,56
k	1,00

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,00
qo (KPa)	308
Es (Kpa)	11600
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 Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	1,50
c' (KPa)	0,0	L	1,50
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	20,0		
E (KPa)	11600,0		
μ	0,4		
H (m)	1,2		
dw (m)	1,5		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,50

Kv (kN/m3)	10831

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,51	1,53
Sq	1,26	1,44
Sy	1,26	0,60
dc	1,21	1,27
dq	1,11	1,21
dy	1,11	1,00
Qult (KPa)	496,44	482,43
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	165,48	160,81

B/L	1,00
D/B	0,67
kp	2,56
k	0,67

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,50
qo (KPa)	205
Es (Kpa)	11600
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 Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	2,00
c' (KPa)	0,0	L	2,00
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	20,0		
E (KPa)	11600,0		
μ	0,4		
H (m)	1,6		
dw (m)	1,5		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,50

Kv (kN/m3)	8123

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,51	1,53
Sq	1,26	1,44
Sy	1,26	0,60
dc	1,16	1,20
dq	1,08	1,15
dy	1,08	1,00
Qult (KPa)	538,34	488,59
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	179,45	162,86

B/L	1,00
D/B	0,50
kp	2,56
k	0,50

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	2,00
qo (KPa)	154
Es (Kpa)	11600
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 Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	2,50
c' (KPa)	0,0	L	2,50
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	19,4		
E (KPa)	11600,0		
μ	0,4		
H (m)	2,0		
dw (m)	1,5		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,50

Kv (kN/m3)	6499

Resultados		
Factores	Meyerhof	Hansen
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,51	1,53
Sq	1,26	1,44
Sy	1,26	0,60
dc	1,13	1,16
dq	1,06	1,12
dy	1,06	1,00
Qult (KPa)	576,05	498,45
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	192,02	166,15

B/L	1,00
D/B	0,40
kp	2,56
k	0,40

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	2,50
qo (KPa)	123
Es (Kpa)	11600
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 Ancho Variable

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	3,00
c' (KPa)	0,0	L	3,00
Su (Kpa)	0,0	D	1,00
Ym (KN/m3)	20,0		
Ye (KN/m3)	18,6		
E (KPa)	11600,0		
μ	0,4		
H (m)	2,4		
dw (m)	1,5		
Y' (kN/m3)	10,2		

NF	2,50

Kv (kN/m3)	5415

Resultados		
Factores	**Meyerhof**	**Hansen**
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,51	1,53
Sq	1,26	1,44
Sy	1,26	0,60
dc	1,11	1,13
dq	1,05	1,10
dy	1,05	1,00
Qult (KPa)	609,43	509,07
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	203,14	169,69

B/L	1,00
D/B	0,33
kp	2,56
k	0,33

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	3,00
qo (KPa)	103
Es (Kpa)	11600
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: Micropilotes TITAN

Datos Generales	
Obra	PARQUE DE ARTES Y OFICIOSBELLO,ANTIOQUIAINFORMACIÓN
Cliente	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Fecha	30/04/2021

Datos del Proyecto	
Carga de servicio (kN)	300

Datos de la Barra Seleccionada	
Barra TITAN	40/16
Resistencia (kN)	490

Datos del Suelo		
H1 (m)	3	Espesor del estrato 1
α bond 1 (kPa)	85	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 1
H2 (m)	2	Espesor del estrato 2
α bond 2 (kPa)	142,5	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 2
H3 (m)	1,5	Espesor del estrato 3
α bond 3 (kPa)	250	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 3

Datos del grupo de pilotes		
db (mm)	40	
a (mm)	50	
Db (mm)	90	
N	4	Grupo de micropilotes
S (m)	1	Separación de micropilotes
η	1	Eficiencia
FS	2	Factor de Seguridad
Lb	**4,93**	Longitud necesaria

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: Micropilotes TITAN

Datos Generales	
Obra	PARQUE DE ARTES Y OFICIOSBELLO,ANTIOQUIAINFORMACIÓN
Cliente	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Fecha	30/04/2021

Datos del Proyecto	
Carga de servicio (kN)	300

Datos de la Barra Seleccionada	
Barra TITAN	52/26
Resistencia (kN)	650

Datos del Suelo		
H1 (m)	3	Espesor del estrato 1
α bond 1 (kPa)	85	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 1
H2 (m)	2	Espesor del estrato 2
α bond 2 (kPa)	142,5	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 2
H3 (m)	1,5	Espesor del estrato 3
α bond 3 (kPa)	250	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 3

Datos del grupo de pilotes		
db (mm)	52	
a (mm)	50	
Db (mm)	102	
N	4	Grupo de micropilotes
S (m)	1	Separación de micropilotes
η	1	Eficiencia
FS	2	Factor de Seguridad
Lb	**4,50**	Longitud necesaria

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: Micropilotes TITAN

Datos Generales	
Obra	PARQUE DE ARTES Y OFICIOSBELLO,ANTIOQUIAINFORMACIÓN
Cliente	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Fecha	30/04/2021

Datos del Proyecto	
Carga de servicio (kN)	300

Datos de la Barra Seleccionada	
Barra TITAN	73/53
Resistencia (kN)	900

Datos del Suelo		
H1 (m)	3	Espesor del estrato 1
α bond 1 (kPa)	85	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 1
H2 (m)	2	Espesor del estrato 2
α bond 2 (kPa)	142,5	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 2
H3 (m)	1,5	Espesor del estrato 3
α bond 3 (kPa)	250	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths 3

Datos del grupo de pilotes		
db (mm)	73	
a (mm)	50	
Db (mm)	123	
N	4	Grupo de micropilotes
S (m)	1	Separación de micropilotes
η	1	Eficiencia
FS	2	Factor de Seguridad
Lb	**3,93**	Longitud necesaria

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	4	1	2	0,0	0,0
1,00	2,00	85,0	40	50	90	4	1	2	48,1	48,1
2,00	3,00	85,0	40	50	90	4	1	2	48,1	96,1
3,00	4,00	85,0	40	50	90	4	1	2	48,1	144,2
4,00	5,00	142,5	40	50	90	4	1	2	80,6	224,8
5,00	6,00	142,5	40	50	90	4	1	2	80,6	305,4
6,00	7,00	250,0	40	50	90	4	1	2	141,4	446,7
7,00	7,50	250,0	40	50	90	4	1	2	70,7	517,4

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	4	1	2	0,0	0,0
1,00	2,00	85,0	52	50	102	4	1	2	54,5	54,5
2,00	3,00	85,0	52	50	102	4	1	2	54,5	109,0
3,00	4,00	85,0	52	50	102	4	1	2	54,5	163,4
4,00	5,00	142,5	52	50	102	4	1	2	91,3	254,8
5,00	6,00	142,5	52	50	102	4	1	2	91,3	346,1
6,00	7,00	250,0	52	50	102	4	1	2	160,2	506,3
7,00	7,50	250,0	52	50	102	4	1	2	80,1	586,4

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	4	1	2	0,0	0,0
1,00	2,00	85,0	73	50	123	4	1	2	65,7	65,7
2,00	3,00	85,0	73	50	123	4	1	2	65,7	131,4
3,00	4,00	85,0	73	50	123	4	1	2	65,7	197,1
4,00	5,00	142,5	73	50	123	4	1	2	110,1	307,2
5,00	6,00	142,5	73	50	123	4	1	2	110,1	417,3
6,00	7,00	250,0	73	50	123	4	1	2	193,2	610,5
7,00	7,50	250,0	73	50	123	4	1	2	96,6	707,1

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 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	250,0	40	50	90	1	1	2	35,3	111,7
7,00	7,50	250,0	40	50	90	1	1	2	17,7	129,4

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	250,0	52	50	102	1	1	2	40,1	126,6
7,00	7,50	250,0	52	50	102	1	1	2	20,0	146,6

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 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	250,0	73	50	123	1	1	2	48,3	152,6
7,00	7,50	250,0	73	50	123	1	1	2	24,2	176,8

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

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 7 - Artes” 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

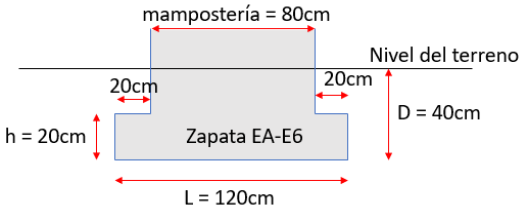
Zapata EA – E6	
	
Zapata ED – E1	
	

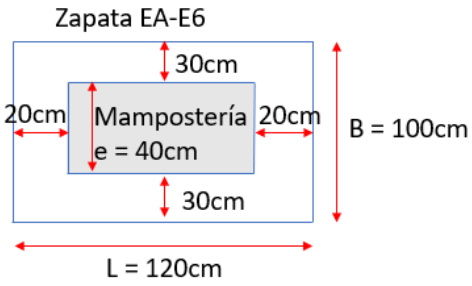
Fuente: Bioexplora S.A.S.

Las identificaciones de las zapatas inspeccionadas están ubicadas según el plano "EST.PROY.PAO SCA-A P Ed 5 C".
De esta manera, las dimensiones de las zapatas son presentadas en los siguientes esquemas:

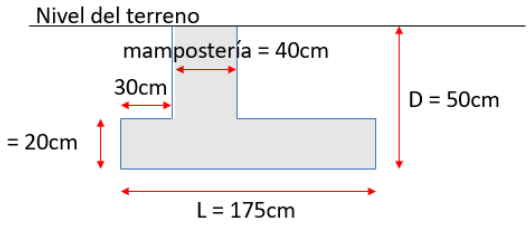
Tabla 2 Esquemas de las zapatas inspeccionadas

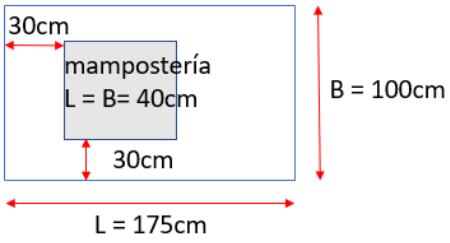
Zapata EA – E6





Zapata ED – E1





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-E6	1.00	1.20	0.40	60	16000
ED-E1	1.00	1.75	0.50	70	16000

Fuente: Bioexplora S.A.S.

Las memorias de cálculo se presentan a continuación:

Tabla 4 Memorias de cálculo

Bioexplora
Ingeniería y Gestión Ambiental de Suelos

Análisis Geotécnico: Capacidad de carga de zapata inspeccionada - Zapata EA-E6

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	1,00
c' (KPa)	0,0	L	1,20
Su (Kpa)	0,0	D	0,40
Ym (KN/m3)	18,0		
Ye (KN/m3)	18,0		
E (KPa)	12000		
μ	0,4		
H (m)	0,8		
dw (m)	1,6		
Y' (kN/m3)	8,2		

NF	2,00
Kv (kN/m3)	16807

Resultados		
Factores	Meyerhof	Hansen
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,43	1,44
Sq	1,21	1,37
Sy	1,21	0,67
dc	1,13	1,16
dq	1,06	1,12
dy	1,06	1,00
Qult (KPa)	203,18	178,52
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	67,73	59,51

B/L	0,83
D/B	0,40
kp	2,56
k	0,40

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,00
qo (KPa)	291
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,20
α	1,23
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: Capacidad de carga de zapata inspeccionada - Zapata ED-E1

Parámetros del suelo		Parámetros de la cimentación	
ϕ' (°)	26,0	B	1,00
c' (KPa)	0,0	L	1,75
Su (Kpa)	0,0	D	0,50
Ym (KN/m3)	18,0		
Ye (KN/m3)	18,0		
E (KPa)	12000		
μ	0,4		
H (m)	0,8		
dw (m)	1,5		
Y' (kN/m3)	8,2		

NF	2,00
Kv (kN/m3)	16807

Resultados		
Factores	Meyerhof	Hansen
Nq	11,85	11,85
Nc	22,25	22,25
Ny	8,00	7,94
Sc	1,29	1,30
Sq	1,15	1,25
Sy	1,15	0,77
dc	1,16	1,20
dq	1,08	1,15
dy	1,08	1,00
Qult (KPa)	221,26	209,07
FS	3,00	3,00
Qad (KPa)	73,75	69,69

B/L	0,57
D/B	0,50
kp	2,56
k	0,50

Resultados	
Asentamiento	
B (m)	1,00
qo (KPa)	246
Es (Kpa)	12000
μ	0,40
m (L/B)	1,75
α	1,45
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.