

**EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DE CAMPO MEDIANTE
PERFORACIONES CON BARRENO HQ, DOWN HOLE Y
LÍNEAS SÍSMICAS EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA.**

**Contrato N°338 de 2014
SUSCRITO CON EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - SGC**



**INFORME FINAL
EXPLORACIÓN EJECUTADA EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN
Bogotá D.C., Enero de 2015**

CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE - CI AMBIENTAL SAS

CI AMBIENTAL SAS



INFORME FINAL

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DE CAMPO MEDIANTE PERFORACIONES CON BARRENO HQ, DOWN HOLE Y LÍNEAS SÍSMICAS EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA

**Contrato N°338 de 2014
SUSCRITO CON EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - SGC**

COPIA ORIGINAL

30 de Enero de 2015

CONTRATANTE

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - SGC

TITULO:

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA DE CAMPO MEDIANTE PERFORACIONES CON BARRENO HQ, DOWN HOLE Y LÍNEAS SÍSMICAS EN EL MUNICIPIO DE POPAYÁN, CAUCA.

AUTOR (CONTRATISTA):

CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE - CI AMBIENTAL SAS

RESUMEN:

Este documento presenta los resultados de las actividades técnicas realizadas en la zona urbana de la ciudad de Popayán, según Contrato N°338 de 2014, suscrito entre el Servicio Geológico Colombiano-SGC y Consultores en Ingeniería y Medio Ambiente-C.I. Ambiental SAS, en el marco del proyecto de investigación “Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa en el Municipio de Popayán” que adelanta el SGC y la Alcaldía Municipal de Popayán. Las actividades de exploración de campo consistieron en la ejecución de una serie de perforaciones geotécnicas con barreno HQ y la realización de exploración geofísica mediante líneas de refracción sísmicas y ensayos down hole.

PALABRAS CLAVES:

Popayán, Exploración Geotécnica, Subsuelo, Perforaciones, Geofísica, Down Hole, Líneas Sísmicas, Refracción, Ondas de Corte.

INFORME No.:	CONTRATO No.:	IDIOMA:	NUMERO DE PAGINAS:	NUMERO DE COPIAS:
V4	338 de 2014	Español	46	1

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. ALCANCES	8
1.2. ORGANIZACIÓN DEL INFORME	9
1.3. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS.....	9
1.4. ANTECEDENTES	10
1.5. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
2. INVESTIGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	13
2.1. METODOLOGÍA	13
2.2. EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO	13
2.2.1. PERFORACIONES MECÁNICAS.....	13
2.2.2. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS	19
2.2.3. MUESTRAS RECUPERADAS	23
2.3. EXPLORACIÓN INDIRECTA DEL SUBSUELO.....	25
2.3.1. ENSAYOS DOWN HOLE	25
2.3.2. ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA	30
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Relación de las perforaciones realizadas (coordenadas planas Magna-Sirgas Origen Occidente), alcance en profundidad y cantidad de muestras recuperadas.....	14
Tabla 2. 2 Relación de las perforaciones realizadas y su relación con la Unidad de Ingeniería Geológica-UGI.....	19
Tabla 2. 3 Relación de muestras recuperadas en la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán.....	23
Tabla 2. 4 Características perforaciones escogidas para el ensayo Down hole	26
Tabla 2. 5 Localización de las líneas de refracción sísmica realizadas en el área de estudio.....	31
Tabla 2. 6 Velocidades Ondas P (LEP-11)	37
Tabla 2. 7 Velocidades Ondas S (LEP-11)	37
Tabla 2. 8 Clasificación de los tipos de perfiles de suelo en función de la velocidad de onda de corte.	39
Tabla 2. 9 Estratos identificados y estimación de parámetros geomecánicos.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Localización general del área de estudio.....	12
Figura 2. 1 Ubicación de las perforaciones, ensayos down hole y líneas símicas realizadas en la Ciudad de Popayán.....	15
Figura 2. 2 Máquina Acker Soil Scout usada para las labores de perforación realizadas en la ciudad de Popayán, ubicada en el sitio P-02, Barrio Santa Fe Alto.	16
Figura 2. 3 Vista cercana del pedestal erigido en el sitio P-07, Barrio La Paz, Popayán.	17
Figura 2. 4 Registro de campo de los primeros 4.5 metros en profundidad, correspondiente a la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán.	18
Figura 2. 5 Perfil estratigráfico del subsuelo elaborado con el programa STRATER, correspondiente a la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán. La profundidad de exploración fue de 20 m.....	20
Figura 2. 6 Fotografía de la muestra recuperada en la perforación P-08, entre 4,5 a 6,0 m de profundidad.....	24
Figura 2. 7 Almacenamiento de las muestras recuperadas en la perforación P-06 para su posterior envío al Laboratorio de Suelos.	24
Figura 2. 8 Equipo CROSSHOLE AND DOWNHOLE SEISMIC TEST.	26
Figura 2. 9 Geófono triaxial (Olson Instruments) utilizado para la recepción de datos.	27
Figura 2. 10. Realización de ensayo Down Hole en la perforación P-06, Barrio La Chama, Popayán....	27
Figura 2. 11 Perfil de velocidades de ondas S y P en la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán.	29
Figura 2. 12 Sismógrafo Seistronix RAS-24	32
Figura 2. 13 Geófonos	32
Figura 2. 14 Medición en Campo	32
Figura 2. 15 Mosaico pantallazos ondas P (LEP-11).....	33
Figura 2. 16 Pantallazo Rayfract, LEP-11(Ondas P)	34
Figura 2. 17 Pantallazo Rayfract, LEP-11(Ondas S)	34
Figura 2. 18 Timebreaks y Dromocronas, Ondas P (LEP-11)	35
Figura 2. 19 Timebreaks y Dromocronas, Ondas S (LEP-11).....	36
Figura 2. 20 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda P (Vp), LEP-11	38
Figura 2. 21 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda S (Vs), LEP-11	38
Figura 2. 22 Tomografía analizada del Terreno, Velocidades de Onda S (Vs), LEP-11.....	39

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1 Mapa de ubicación de los sitios de exploración.
- Anexo 2 Registros de perforación, actas de envío de muestras e índice de recuperación.
- Anexo 3 Especificaciones de los equipos de perforación, refracción sísmica y Downhole.
- Anexo 4 Registros de los ensayos de Downhole.
- Anexo 5 Registros de las líneas sísmicas.
- Anexo 6 Registro fotográfico.
- Anexo 7 Tablas de correlación Vp y Vs provenientes de fuentes bibliográficas utilizadas.

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe obedece al Contrato No. 338 de 2014, celebrado entre el Servicio Geológico Colombiano-SGC y Consultores en Ingeniería y Medio Ambiente-CI Ambiente SAS, el cual tiene como objeto la realización de actividades de exploración del subsuelo mediante perforaciones por rotación y técnicas geofísicas.

La metodología utilizada para la ejecución del presente estudio inicio con una búsqueda y análisis de información secundaria. Posteriormente se concertó con los supervisores del SGC y funcionarios de la Alcaldía Municipal, la ubicación precisa de los sitios de exploración, acompañados de los respectivos permisos de acceso. Seguidamente se procedió a realizar la exploración del subsuelo mediante una serie de perforaciones con equipo mecánico por rotación y muestreo continuo de los materiales. Después de la culminación de la perforación, se instaló la tubería y se realizó el ensayo de campo tipo Down Hole. Finalmente, se realizó la exploración indirecta del subsuelo mediante técnicas geofísicas de refracción sísmica.

Este documento presenta los resultados obtenidos de las actividades de campo ejecutadas en el casco urbano de la ciudad de Popayán, a partir de los cuales el SGC podrá adelantar la caracterización geomecánica de los diferentes materiales y precisar, en lo posible, la identificación de estructuras geológicas en el área de estudio.

1.1. ALCANCES

- Realizar ciento cincuenta (150) metros de perforación por rotación mecánica, en sitios previamente definidos por el contratante hasta profundidades variables entre 15 y 20 metros, con tubería de diámetro HQ.
- Descripción del material recuperado de la perforación, registro fotográfico, conservación, protección y envío de las muestras recuperadas a las instalaciones del Servicio Geológico Colombiano.
- Elaboración del perfil estratigráfico de cada una de las perforaciones.
- Ejecutar cuatro (4) ensayos tipo Down Hole en perforaciones previamente seleccionadas y encamisadas con tubería PVC, para la determinación de la velocidad de propagación de ondas de corte.
- Realizar treinta y dos (32) líneas sísmicas en el área rural y urbana del municipio de Popayán.

1.2. ORGANIZACIÓN DEL INFORME

Este documento está compuesto por tres (3) capítulos, organizados de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se exponen generalidades del estudio, objetivos, procedimiento metodológico y principales antecedentes.

El Capítulo 2 describe de forma detallada la exploración geotécnica y geofísica del subsuelo, así como los resultados e interpretación respectiva correspondiente a los trabajos ejecutados en la Ciudad de Popayán.

Por último, en el Capítulo 3 se presentan las conclusiones más relevantes de las labores realizadas.

1.3. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS

El proceso metodológico implementado para el logro de los objetivos mencionados anteriormente, abordó la realización de las siguientes actividades:

Recopilación de información secundaria: Consiste en la recolección y análisis de la información secundaria disponible.

Actividades de exploración del subsuelo: Se llevaron a cabo los siguientes tipos de exploración:

Perforación mecánica por rotación: Se realizaron nueve (9) perforaciones mecánicas por rotación, con muestreo continua, de profundidades variables, entre 15 y 20 metros. El SGC dio las indicaciones para la ubicación precisa de las mismas, así como la gestión de los permisos para el acceso a los predios, con la colaboración de la Alcaldía Municipal. Se levantaron los registros de campo de las perforaciones en donde se consignaron las características de los materiales, muestreo, recuperación, niveles freáticos, localización y aspectos relevantes del avance y operatividad, entre otros.

Ensayos de Down Hole: Se seleccionaron cuatro (4) de las perforaciones realizadas por parte del SGC, en las cuales se procedió a colocar la tubería ranurada para llevar a cabo el ensayo de Down Hole, con el fin de hacer una caracterización geofísica del subsuelo a través de la estimación de la velocidad de las ondas de corte (Vs) de los materiales explorados.

Líneas de Refracción Sísmica: Se realizaron treinta y dos (32) líneas sísmicas de 120 metros de longitud cada una, con el fin de identificar y caracterizar materiales en profundidad en función de propiedades geofísicas. El SGC dio las indicaciones para la ubicación precisa de las

mismas, la cual en algunas de ellas tuvieron que ser parcialmente modificadas debido a obstáculos presentes en el terreno. Cabe resaltar que se realizaron dos (2) líneas sísmicas adicionales a las treinta (30) líneas inicialmente contempladas, con el objeto de colaborar con la investigación y la caracterización geológica y geotécnica del sector de estudio.

Interpretación geotécnica: Se hizo una descripción desde el punto de vista geotécnico, de los materiales encontrados durante la perforación, con lo cual se elaboraron los respectivos perfiles estratigráficos. Además se presentan los resultados producto del análisis del ensayo de Down Hole y de las líneas de refracción sísmica, en función de la velocidad de propagación de las ondas de corte y de compresión de los materiales.

1.4. ANTECEDENTES

De acuerdo con el Plan Operativo 2014 del Servicio Geológico Colombiano (SGC), a través del Proceso “Investigación y Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa”, se continúa desarrollando proyectos que contribuyen al conocimiento del tema y al desarrollo de guías metodológicas para adelantar zonificaciones de amenaza a diferentes escalas, en diferentes ambientes geológicos que generan diversidad de tipos de movimientos en masa.

Las zonificaciones de amenazas por movimientos en masa constituyen de acuerdo con la Ley 1523 de 2012 un insumo importante para la gestión del riesgo de desastres con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida y al desarrollo sostenible. Por lo anterior, el SGC viene adelantando la zonificación de amenazas por movimientos en masa en el municipio de Popayán en dos escalas, una en la zona rural a escala 1:25.000 y otra en la zona urbana y suburbana a escala 1:5.000, que corresponde a una escala detallada de estudio en una zona con ambiente geológico volcánico, elaborando además una zonificación geomecánica en la zona urbana del municipio.

Dentro de la metodología a aplicar en dicha zonificación, es necesario avanzar en el conocimiento de las condiciones geológicas estructurales y geotécnicas de la zona de estudio, que permitan definir las características geomecánicas y geodinámicas de los materiales que afectan el comportamiento ingenieril del subsuelo, a partir de un plan de exploración en la zona urbana y suburbana del municipio de Popayán, en un área aproximada de 4000 Has.

Por lo anterior y como soporte del desarrollo del presente estudio, se requirió realizar ocho (8) perforaciones, distribuidas en seis (6) perforaciones de 20 metros cada una y dos (2) perforaciones de 15 metros cada una, para un total de ciento cincuenta (150) metros de perforación, en las cuales se obtendrán muestras inalteradas de los materiales presentes en

el área de estudio. A partir de la recuperación de muestras inalteradas el SGC procederá a realizar ensayos de laboratorio para la obtención de los parámetros de resistencia estática y dinámica, compresibilidad y propiedades físico-mecánicas del subsuelo, entre otras. Cabe destacar que a manera de trabajo complementario, para la obtención de propiedades dinámicas representativas de los materiales, se han programado ensayos geofísicos de tipo Down-Hole, en cuatro (4) de las perforaciones.

También se requirió realizar treinta y dos (32) líneas sísmicas de 120 metros cada una, con las cuales se pretende obtener tomografías sísmicas en los perfiles predeterminados, en los cuales se obtendrá para los materiales presentes propiedades de velocidad y los cambios de resistividad. Con esta información y otros tipos de exploración, el SGC pretende configurar un modelo geológico-geotécnico, que además de permitir la realización de los análisis de estabilidad de las laderas en las zonas de estudio, contribuirá a la definición de la zonificación de amenazas por movimientos en masa en la zona urbana y suburbana del municipio de Popayán.

1.5. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Popayán es la capital del departamento de Cauca. La cabecera municipal está localizada en el valle de Pubenza, entre la Cordillera Occidental y Central al occidente del país, en las coordenadas 2°26'39" de latitud norte y 76°37'17" de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 1760 m. El área municipal es de 512 km².

El área de interés del presente estudio es el casco urbano y zonas aledañas, cuya localización general se presenta en la **Figura 1. 1.**

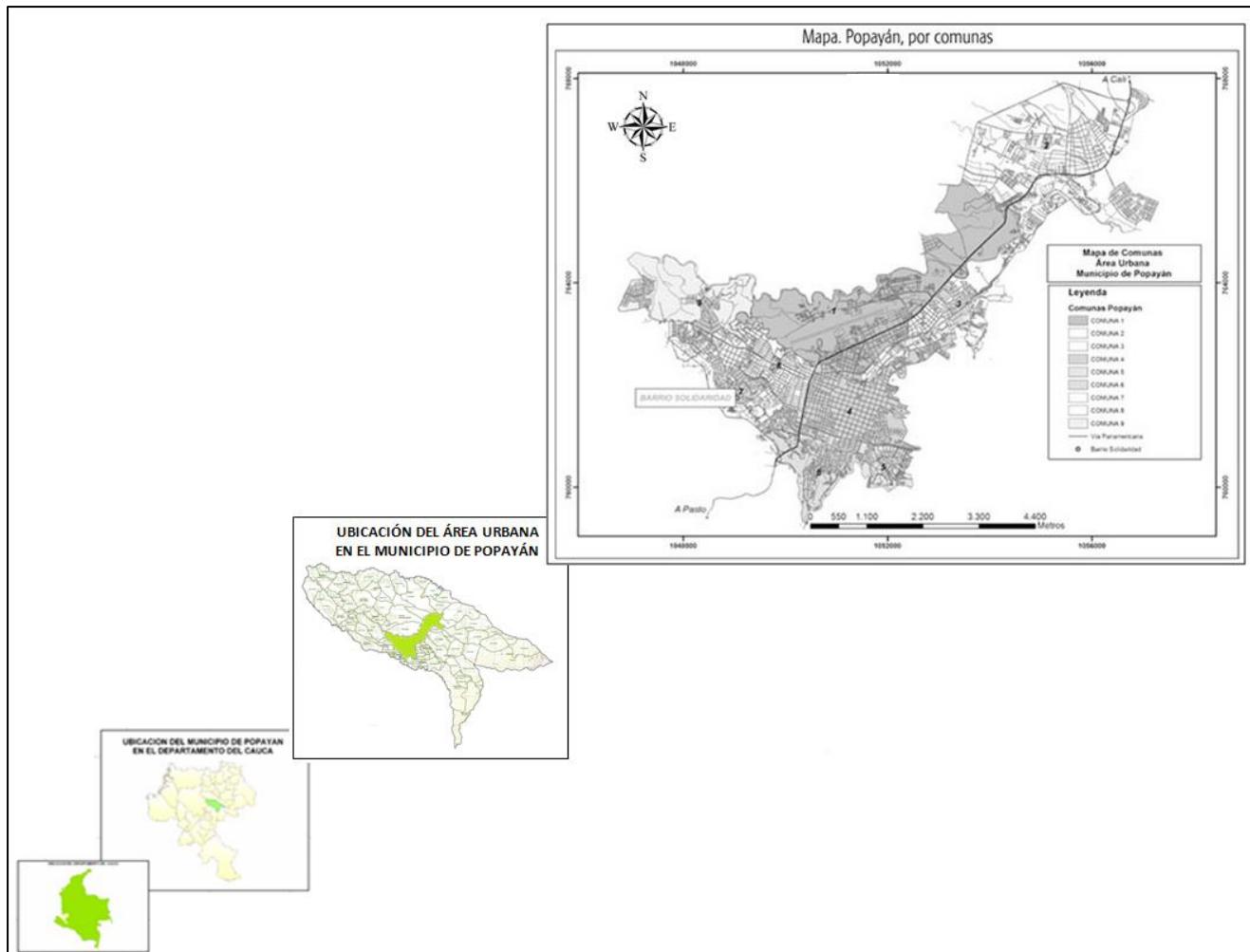


Figura 1. 1 Localización general del área de estudio.

2. INVESTIGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En este capítulo se presenta el desarrollo de las diferentes actividades llevadas a cabo durante el estudio geotécnico realizado para la caracterización de la zona del estudio.

2.1. METODOLOGÍA

La fase de exploración geotécnica se enfocó principalmente hacia la definición de los espesores, identificación y muestreo de los diferentes materiales del subsuelo en la zona del estudio, además de reportar los niveles freáticos encontrados durante las labores. Para ello se realizaron inicialmente una serie de perforaciones, con muestreo continuo en lo posible de tipo inalterado y el levantamiento de los respectivos registros de perforación de campo.

Las muestras recuperadas fueron debidamente manipuladas, embaladas y enviadas al Laboratorio de Suelos del SGC. Seguidamente se realizaron los ensayos de prospección geofísica, unos de tipo Down Hole a lo largo de las perforaciones más profundas seleccionadas, y otros de tipo de refracción sísmica a lo largo de líneas de 120 metros de longitud. Por último, se organizaron, procesaron e interpretaron los datos y se elaboraron los reportes de avances y el informe final.

Para lo anterior, se contó con el levantamiento topográfico y la cartografía de unidades de ingeniería geológica, una y otra suministrada por el SGC para el presente estudio. A continuación se describen y se reportan los resultados de tales labores.

2.2. EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO

2.2.1. PERFORACIONES MECÁNICAS

Se llevaron a cabo nueve (9) perforaciones mecánicas por rotación en diámetro HQ, con profundidad de exploración variable, la mayoría entre 15.0 y 20.5 m, durante las cuales se recuperaron muestras inalteradas de los materiales presentes en el sector, permitiendo su descripción, estimación de espesores y caracterización geotécnica.

La distribución y resultados de dichas perforaciones permitieron identificar la secuencia estratigráfica de materiales, lo que ayudará a complementar y precisar la información geológica superficial de referencia.

En la **Tabla 2. 1** se relacionan las coordenadas de los sitios de perforación, profundidad de exploración, la cantidad de muestras tomadas y la posición del nivel freático medido después de las labores. La ejecución total alcanzó una longitud de 152 m de perforación. Las coordenadas fueron obtenidas mediante un navegador de mano (GPS marca Garmin) en Sistema Magna Sirgas Origen Occidente.

Tabla 2. 1 Relación de las perforaciones realizadas (coordenadas planas Magna-Sirgas Origen Occidente), alcance en profundidad y cantidad de muestras recuperadas.

Perforación	X (mE)	Y (mN)	Profundidad (m)	Muestras tomadas
P-01	1054916	763572	15.0	10
P-02	1050732	761417	20.5	15
P-03	1052318	759988	20.0	13
P-04	1049210	760994	3.0	2
P-04A	1049441	760999	20.5	15
P-05	1049588	762920	18.0	11
P-06	1048169	764174	15.0	11
P-07	1057272	765789	20.0	26
P-08	1048405	761500	20.0	13

Nota: La precisión de las coordenadas medidas mediante GPS fue de ±3 metros.

La distribución espacial de las perforaciones ejecutadas se aprecia en la **Figura 2. 1** (ver **Anexo 1**). La **Figura 2. 2** presenta la máquina de perforación utilizada en las labores, cuyas características técnicas pueden consultarse en el **Anexo 3**.

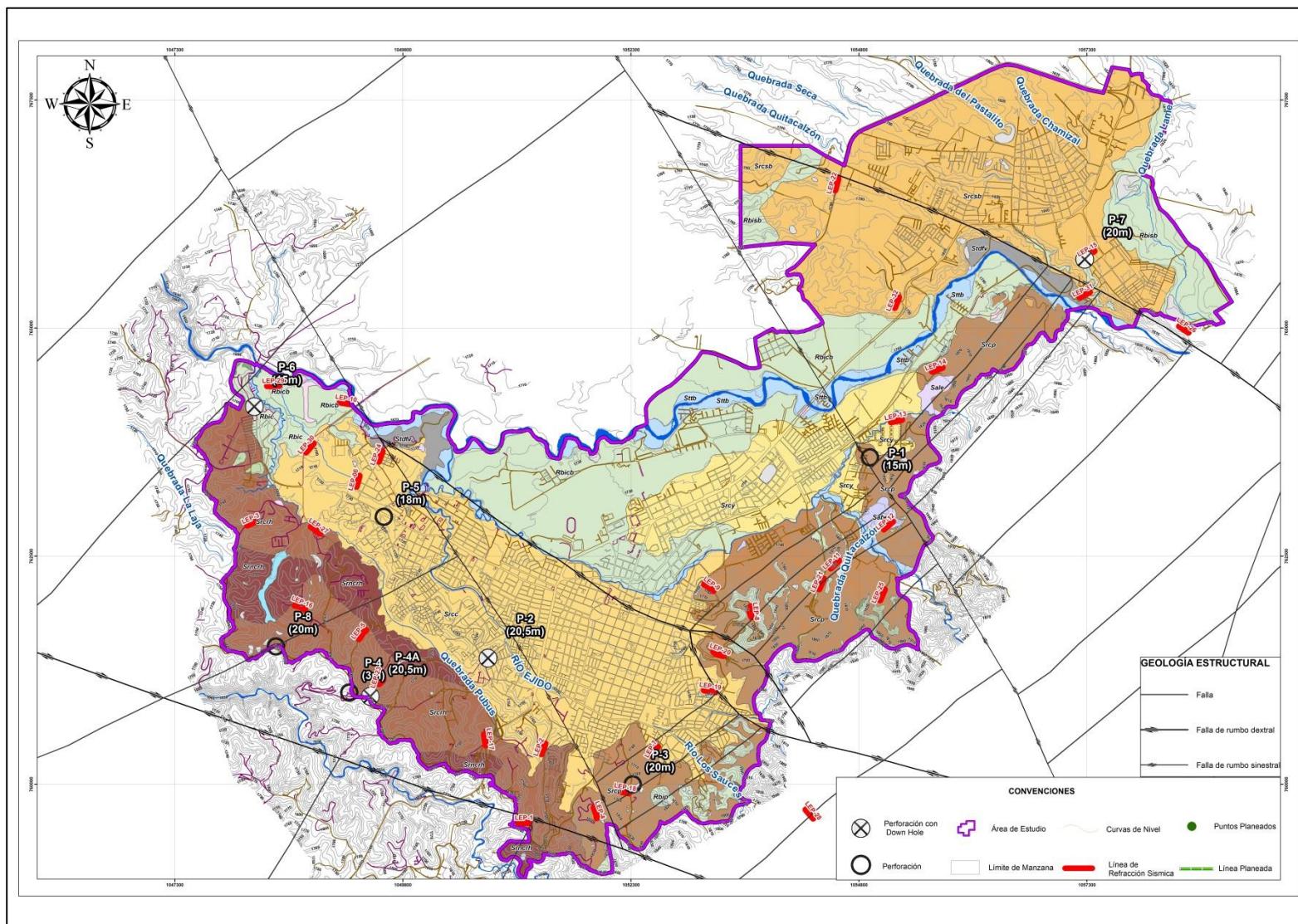


Figura 2. 1 Ubicación de las perforaciones, ensayos down hole y líneas símicas realizadas en la Ciudad de Popayán.





Figura 2. 2 Máquina Acker Soil Scout usada para las labores de perforación realizadas en la ciudad de Popayán, ubicada en el sitio P-02, Barrio Santa Fe Alto.

Dentro de las dificultades encontradas para la realización de las perforaciones, se destaca que durante las labores se presentaron lluvias esporádicas, algunas muy intensas, sobre todo en horas de la tarde, que afectaron el rendimiento de los trabajos. Sin embargo, las actividades se desarrollaron dentro de los tiempos establecidos.

Además, en algunos sitios y para los niveles más superficiales (del orden de 6 metros), en donde se encontraron suelos de moderada compacidad, fue necesario el utilizar bentonita y encamisar los primeros metros de la perforación, con el fin de evitar contaminación de las muestras recuperadas y garantizar la estabilidad de las paredes del foso.

Luego de alcanzar la profundidad deseada, se instaló la tubería de inclinómetro al interior de la perforación, para permitir la realización del ensayo de Down Hole. Finalmente, y habiendo esperado que dicha tubería estuviera estable en el foso, se procedió a crear un pedestal de concreto alrededor de la parte superior y sobresaliente de la tubería. A manera de ilustración, la **Figura 2. 3** muestra el pedestal ya erigido en el sitio de perforación P-07.

Como resultado de tales labores, se obtuvieron los registros diligenciados en campo de cada una de las perforaciones realizadas. A manera de ilustración, la **Figura 2. 4** muestra el registro de campo P-07, los demás registros se presentan en el **Anexo 2**.



Figura 2. 3 Vista cercana del pedestal erigido en el sitio P-07, Barrio La Paz, Popayán.

AMBIENTAL		REGISTRO DE PERFORACIÓN MECÁNICA POR ROTACIÓN						Código F-18	
Proyecto:	ZAMMP-025	Coordinadas:	1057272	ESTE	765789 ± 3m	NORTE	1877 mm		
Localización:	Popayán - La Paz	Nivel Freático:	P7				HQ		
Momento de Perforación:					FECHA INICIO	13-12-14	FECHA FIN	16-12-14	
Nombre del corán:	Jesús Verdugo	Quien describe:	Ing. Carlos Alvarado F.						
PROF. [m]	DE	HASTA	RECUPERACION (m)	SPT	DESCRIPCIÓN	MUESTRA			
				15 cm 30 cm 45 cm		ID	Perforación	RQD	
0.00	0.20	—			Lapa Vegetal orgánica, presencia de raíces		Inicial Final	(Sumatoria longitud tramos mayores a 10 cms)	
0.20	1.50	0.40			Arcilla limosa color gris SYR(4/2) M1 de plasticidad media y consistencia media, con presencia de raíces y partículas tamaño arena media. Al final se observan puntos negros (orgánicos) y aumenta la plasticidad.				
1.50	3.00	0.47			Arcilla limosa color rojizo con M2 tonos amarillentos grisaceos SYR(5/6), de plasticidad media y consistencia media, alta/oxidada, con algunos puntos negros (orgánicos)				
RP _i = 1.5 - 1.25 - 1.0 - 1.5									
3.00	4.50	0.95			Idem.				
					Al inicio presencia de arena fina M3A (Superior) y consistencia dura (RP _i =2.0) Al final presencia de arena gruesa M3B (Inferior) y consistencia media.				
OBSERVACIONES: No se tomaron testigos por parte del SGC									

1

Figura 2. 4 Registro de campo de los primeros 4.5 metros en profundidad, correspondiente a la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán.

2.2.2. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Teniendo en cuenta la descripción visual y manual en campo de los materiales, el registro fotográfico, los niveles freáticos medidos, los datos de resistencia al corte medido con el penetrómetro de bolsillo, entre otros, se determinó la estratigrafía del subsuelo, desde el punto de vista geotécnico, en cada uno de los sitios de perforación.

De esta forma se construyeron perfiles estratigráficos utilizando el software Strater, como el que se presenta en la **Figura 2. 5**. Las descripciones de los estratos generalmente incluyen el tipo de material, tamaño de la partícula, color, espesor de cada estrato identificado y las condiciones de humedad, consistencia o compacidad para cada sección de material extraído. Para cada tipo de suelo se define también una representación gráfica consecuente con la descripción del tipo de material encontrado. Los demás perfiles pueden consultarse en el **Anexo 2**.

En la **Tabla 2. 2** se relacionan las perforaciones asociadas a la unidad de ingeniería geológica-UGI. Se observa que todas se localizaron, a excepción de la P-06, en unidades de suelos residuales de tipo cohesivo y de textura predominantemente arcillosa.

Tabla 2. 2 Relación de las perforaciones realizadas y su relación con la Unidad de Ingeniería Geológica-UGI.

Perforación	Profundidad alcanzada (m)	UGI (Fuente: SGC, 2015)	Nombre UGI (Fuente: SGC, 2015)
P-01	15.0	Srcp	Suelo residual cohesivo Conjunto Pueblillo
P-02	20.5	Srcc	Suelo residual cohesivo Conjunto El Cadillal
P-03	20.0	Srcp	Suelo residual cohesivo Conjunto Pueblillo
P-04	3.0	Srcrh	Suelo residual cohesivo Conjunto Rio Hondo
P-04A	20.5	Srcrh	Suelo residual cohesivo Conjunto Rio Hondo
P-05	18.0	Srcc	Suelo residual cohesivo Conjunto El Cadillal
P-06	15.0	Rbic	Suelo derivado de Ignimbrita Conjunto El Cadillal
P-07	20.0	Srcsb	Suelo residual cohesivo Conjunto San Bernardino
P-08	20.0	Srcrh	Suelo residual cohesivo Conjunto Rio Hondo

Específicamente, las perforaciones P-01 y P-03 localizadas en la unidad Srcp, corresponden en sus primeros 15 metros de profundidad, a depósitos de arcillas limosas de color habano a rosado claro, de consistencia blanda a media y con presencia de arenas finas a gruesas.



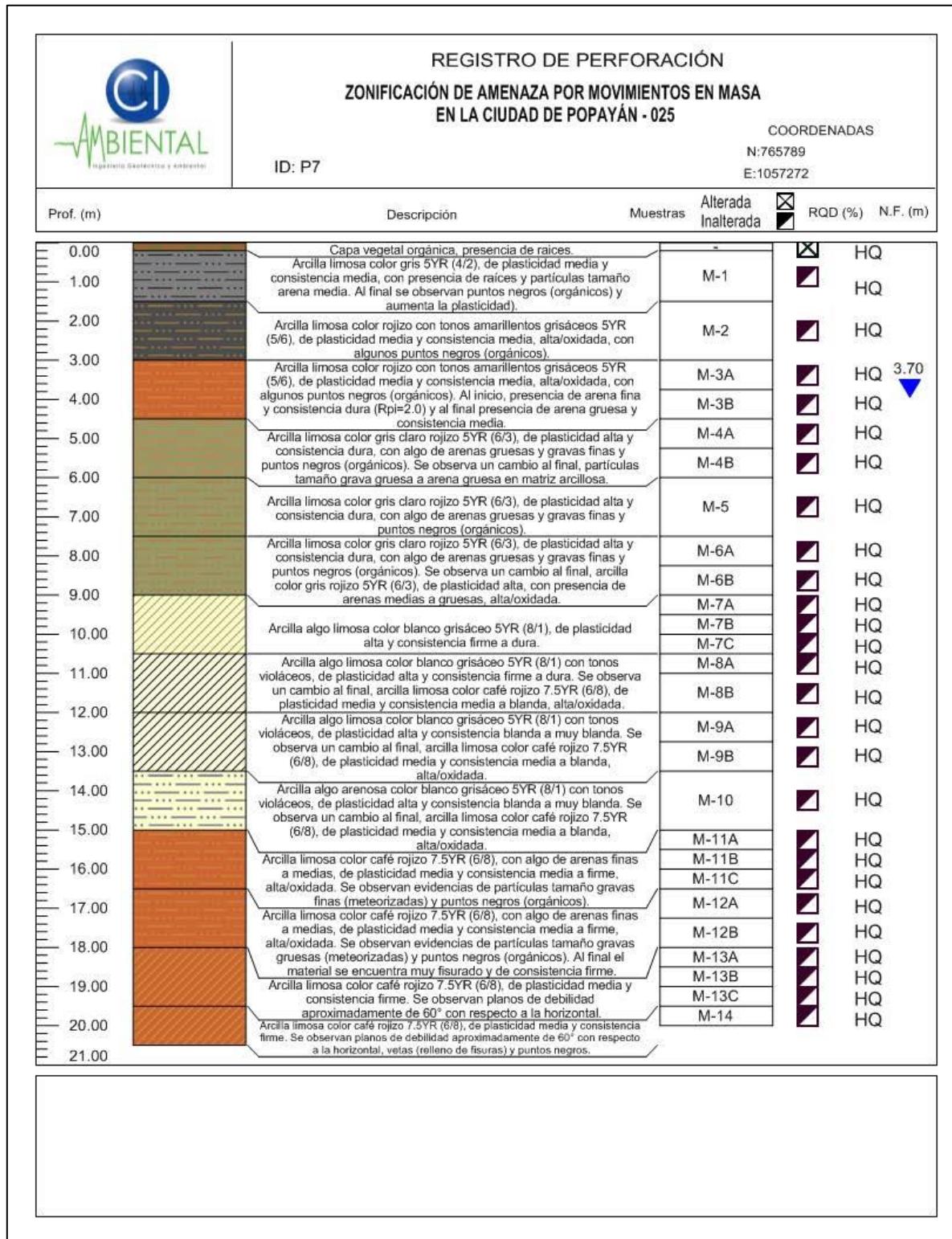


Figura 2. 5 Perfil estratigráfico del subsuelo elaborado con el programa STRATER, correspondiente a la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán. La profundidad de exploración fue de 20 m.



Calle 171 # 21A-62 / tels.: (1) 671 2917 - 674 7748 / cel.: 316 876 6310 - 317 503 0960 - 317 503 0961 Bogotá, D.C.
Colombia Carrera 45 # 79-74 Edificio Palermo (701B) / tel.: (5) 356 5865 / cel.: 317 368 3370 Barranquilla, Colombia

A partir de esta profundidad y hasta los 20 metros, el depósito de suelo es arcillo-limoso de color rojizo, su consistencia disminuye a blanda, observándose además la presencia de gravas redondeadas, las cuales evidencian algún medio de transporte de tipo fluvial. Los cambios observados en la consistencia del depósito y las fluctuaciones del nivel freático observadas durante las labores (4.5 a 7.0 metros), permiten inferir horizontes de suelos más consolidados a nivel superficial, en comparación de los poco consolidados encontrados en la base de las perforaciones.

Las perforaciones P-02 y P-05 localizadas en la unidad Srcc, muestran en los primeros 4 a 6 metros de profundidad, arcillas algo limosas de color habano a rojizo y de consistencia blanda, con presencia de material orgánico. A partir de esta profundidad y hasta los 20 metros, el depósito de suelo es arcillo-limoso de color café a habano, su consistencia aumenta a media y la plasticidad aumenta con la profundidad de baja a alta, observándose además el aumento del porcentaje de arenas, en especial desde los 17 metros aproximadamente, en donde el depósito migra a una arcilla arenosa. Como una particularidad en la perforación P-05 y a partir de los 12 metros de profundidad, se observaron fracturas del material, lo que podría estar asociado a la presencia de estructuras geológicas que cruzan el área de estudio. Los niveles de consistencia del depósito infieren un bajo grado de consolidación del depósito. Las fluctuaciones del nivel freático observadas durante las labores, indicaron que éste es del orden de los 3 metros de profundidad.

Las perforaciones P-04, P-04A y P-08 localizadas en la unidad Srcrh, muestran en los primeros 3.0 a 4.5 metros de profundidad, arcillas con algo de arena fina de tonos habanos y de consistencia blanda, con presencia de material orgánico, las cuales pueden asociarse a suelos residuales bien desarrollados. A partir de esta profundidad y hasta el umbral de los 12 metros, el depósito de suelo aumenta su consistencia a media y presenta una plasticidad media. Desde los 17 metros y hasta los 20.5 metros de profundidad, el depósito es de textura arcillosa con algo de limo, aumentando notoriamente el porcentaje de arenas finas a gruesas, su consistencia aumenta nuevamente hasta niveles duros, estimándose la proximidad de depósitos consolidados moderadamente meteorizados. Como particularidad en la perforación P-08, entre los 16 y 19 metros de profundidad, se encontraron fragmentos de roca que podrían estar relacionados a dicha proximidad. Las fluctuaciones del nivel freático observadas durante las labores, indicaron que éste se localiza entre 4.0 y 8.0 metros de profundidad.



La perforación P-07 localizada en la unidad Srcsb, muestra en los primeros 4.5 metros de profundidad, arcillas limosas de color gris amarillento y de consistencia media, con presencia de material orgánico y altos niveles de oxidación (tonos rojizos), las cuales pueden asociarse a suelos residuales bien desarrollados. A partir de esta profundidad y hasta el umbral de los 20 metros, el depósito de suelo residual presenta un aumento en su consistencia de dura a media y presenta una plasticidad de alta a media, excepto entre los 12 y 15 metros de profundidad en donde su consistencia cae drásticamente a niveles blandos a muy blandos, lo cual deberá verificarse con los resultados de los ensayos de laboratorio que se le practiquen a las muestras. Debido a esta particularidad, se estima que el perfil presenta diferentes niveles de consolidación con la profundidad, asociados posiblemente a diferentes pulsos o eventos de deposición ocurridos en su historia geológica. Las fluctuaciones del nivel freático observadas durante las labores, indicaron que éste es del orden de los 4.0 metros. Como otras particularidades no menos importantes, se observó que entre 7.5 y 18 metros se presentan evidencias de alta oxidación en los materiales, con la presencia de fragmentos de roca de tamaño grava, subangulosas y meteorizadas a partir de los 15 metros y hasta los 18 metros de profundidad, lo que argumenta aún más la posibilidad de diferentes pulsos o eventos de deposición ocurridos. Hacia la base de la perforación, desde los 18 metros de profundidad, se observaron planos de debilidad muy bien definidos y persistentes, con una inclinación aproximada de 60° con respecto a la horizontal, aspecto posiblemente asociado a la presencia de estructuras geológicas que cruzan el área de estudio. Las fluctuaciones del nivel freático observadas durante las labores, indicaron que éste se localiza entre 4.0 y 8.0 metros de profundidad.

Por último, la perforación P-06, la única localizada sobre unidad rocosa en la unidad Rbic, presenta en los primeros 7.5 metros de profundidad arcillas y limos arenosos de tonos marrones y de consistencia media. A partir de esta profundidad y hasta el umbral de los 15 metros, el depósito de suelo se torna predominantemente arcilloso con lentes esporádicos de arena, aumentando su consistencia a dura, estimándose la proximidad de depósitos consolidados moderadamente meteorizados. Las fluctuaciones del nivel freático oscilaron alrededor de los 6.0 metros de profundidad. Por otro lado, como esta perforación se localizó en la zona de contacto con la unidad Srcrh, el perfil podría asociarse al descrito anteriormente para las perforaciones P-04, P-04A y P-08 a partir del segundo nivel identificado, lo cual deberá igualmente verificarse con los resultados de los ensayos de laboratorio que se le practiquen a las muestras.



Se recomienda que las anteriores hipótesis y apreciaciones sean verificadas, complementadas y/o ajustadas una vez se cuente con los resultados de los ensayos de laboratorio, apoyados en la cartografía geológica detallada y el modelo geológico-estructural establecido para la zona de estudio.

2.2.3. MUESTRAS RECUPERADAS

La ejecución de las perforaciones se realizó con muestreo continuo de tipo inalterado, sin embargo, en algunos tramos sobre depósitos granulares no consolidados, se recuperaron muestras alteradas o en su defecto con índices de recuperación muy bajos, lo anterior debido a las características y condiciones complejas de los materiales explorados. La **Tabla 2. 3** muestra la relación de las muestras recuperadas en la perforación P-07, así como la recuperación que se tuvo en las diferentes corridas de la misma. El muestreo y el índice de recuperación logrado a lo largo de las otras perforaciones se presentan en el **Anexo 2**.

Tabla 2. 3 Relación de muestras recuperadas en la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán.

PERFORACIÓN - P-07				
PROFUNDIDAD (m)		MUESTRA	LONGITUD RECUPERADA (m)	RECUPERACIÓN (%)
DE	HASTA			
0.00	1.50	M1	0.40	27%
1.50	3.00	M2	0.47	31%
3.00	4.50	M3	0.95	63%
4.50	6.00	M4	0.66	44%
6.00	7.50	M5	0.20	13%
7.50	9.00	M6	0.50	33%
9.00	10.50	M7	1.46	97%
10.50	12.00	M8	1.35	90%
12.00	13.50	M9	1.23	82%
13.50	15.00	M10	0.72	48%
15.00	16.50	M11	1.46	97%
16.50	18.00	M12	1.40	93%
18.00	19.50	M13	1.36	91%
19.50	20.00	M14	0.14	28%

Se generó un registro fotográfico en donde se observan cada una de las muestras recuperadas en la totalidad de las perforaciones ejecutadas (ver **Anexo 6**). A manera de

ilustración, la **Figura 2. 6** presenta el registro fotográfico de una de las muestras recuperadas durante el desarrollo de las labores de perforación.



Figura 2. 6 Fotografía de la muestra recuperada en la perforación P-08, entre 4,5 a 6,0 m de profundidad.

Las muestras de la recuperación fueron debidamente manipuladas y envueltas en papel vinipel, rotuladas y conservadas en cajas metálicas o/y Tubos PVC. En la

Figura 2. 7 se aprecia la forma en que se almacenaban las mismas, las cuales fueron embaladas y enviadas por correo certificado al Laboratorio de Suelos del SGC en Bogotá, cuyas actas de envío se presentan en el **Anexo 2**.



Figura 2. 7 Almacenamiento de las muestras recuperadas en la perforación P-06 para su posterior envío al Laboratorio de Suelos.

2.3. EXPLORACIÓN INDIRECTA DEL SUBSUELO

2.3.1. ENSAYOS DOWN HOLE

Este método se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas de corte (ondas S), desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de puntos a diferentes profundidades en los que se ubica un elemento receptor (geófono) a lo largo de una perforación. Conociendo el tiempo de recorrido que las ondas emplean en recorrer la distancia que separa la fuente y los receptores, se puede determinar la velocidad de propagación del medio. A partir de los valores de velocidad se puede obtener un modelo del subsuelo compuesto por capas de material con valores o rangos de velocidad asociadas. Este método es muy útil para determinar, de manera indirecta, la estratigrafía del subsuelo además de ser muy preciso para determinar la velocidad de propagación de onda de corte en el suelo.

La conformación del subsuelo por este método se validó con la perforación realizada previa a la realización del ensayo, con el fin de obtener un modelo geológico-geotécnico ajustado a las condiciones de campo. El ensayo de Down Hole complementa entonces los resultados que se obtuvieron de las perforaciones realizadas.

Para la recepción de las ondas de corte se utilizó un geófono triaxial dispuesto al interior de la tubería, conectado a un computador con un software de adquisición de datos. El geófono se desplazó a lo largo de la tubería mediante llantas metálicas que encajaban en las ranuras de la misma. El geófono, además del cable de transmisión de datos, tenía a lo largo una cinta métrica para determinar claramente la profundidad a la que se estaba colocando el geófono, así como un pequeño artefacto inflable para garantizar que este se mantuviese quieto en el momento de recibir las ondas de corte.

El ensayo de Down se realizó ubicando un bloque de madera en el terreno a una distancia de 3,0 m del eje de la perforación, el cual se golpea mediante el uso de un martillo para generar las ondas de corte. El geófono móvil al interior de la tubería se bajaba cada metro en profundidad para luego emitir las ondas y registrarlas con el mismo.

Con la finalidad de identificar la respuesta dinámica de los depósitos de suelos detectados en la zona de estudio, en complemento de los ensayos de refracción sísmica, se ejecutaron cuatro (4) ensayos DOWN HOLE, en las perforaciones P-02, P-04A, P-06 y P-07, cuyas características de ubicación geográfica se presentan en la **Tabla 2. 4**. El



procedimiento de toma de datos, se realizó con el equipo CROSSHOLE AND DOWN HOLE SEISMIC TEST de la casa OLSON INSTRUMENTS (Ver **Figura 2. 8** y **Figura 2. 9**). La **Figura 2. 10** muestra el momento en que se ejecutó el ensayo de Down Hole en una de las perforaciones seleccionadas.

Tabla 2. 4 Características perforaciones escogidas para el ensayo Down hole

ID	N.F. (m)	Prof. (m)	Coord_Este_m	Coord_Norte_m
P-02	3.80	20.5	1050732	761417
P-04A	6.50	20.5	1049441	760999
P-06	5.00	15.0	1048169	764174
P-07	3.70	20.0	1057272	765789



Figura 2. 8 Equipo CROSSHOLE AND DOWNHOLE SEISMIC TEST.



Calle 171 # 21A-62 / tels.: (1) 671 2917 - 674 7748 / cel.: 316 876 6310 - 317 503 0960 - 317 503 0961 Bogotá, D.C.
Colombia Carrera 45 # 79-74 Edificio Palermo (701B) / tel.: (5) 356 5865 / cel.: 317 368 3370 Barranquilla, Colombia



Figura 2. 9 Geófono triaxial (Olson Instruments) utilizado para la recepción de datos.



Figura 2. 10. Realización de ensayo Down Hole en la perforación P-06, Barrio La Chama, Popayán.

El método de adquisición de datos se origina en un impacto en superficie, realizado con un martillo de 8lb, el cual es golpeado contra un bloque de madera a una distancia y



Calle 171 # 21A-62 / tels.: (1) 671 2917 - 674 7748 / cel.: 316 876 6310 - 317 503 0960 - 317 503 0961 Bogotá, D.C.
Colombia Carrera 45 # 79-74 Edificio Palermo (701B) / tel.: (5) 356 5865 / cel.: 317 368 3370 Barranquilla, Colombia

elevación conocida con respecto a la perforación; seguidamente, mediante un sensor (acelerómetro), manda un impulso electromagnético al equipo, el cual activa el registro de señales vibratorias del geófono triaxial a profundidad durante un tiempo de lectura definido al inicio de las mediciones. El sistema cuenta con una Unidad de adquisición de datos en un computador freedom data PC, un geófono triaxial (registra ondas P y ondas S respectivamente), el martillo, torpedo inclinómetro para bajar el geófono triaxial a la profundidad deseada, una bomba para inflar el neumático para fijar el geófono triaxial, acelerómetro y algunos otros accesorios necesarios para el buen funcionamiento del sistema.

Para el almacenamiento de los datos, el equipo utiliza el software WINGEO (propio del equipo utilizado), donde los datos de entrada de configuración son el Sample Rate, el Número de Golpes, la ganancia del sistema para cada canal, el tiempo de lectura, y la Sensibilidad del Trigger, además de las posiciones geófono triaxial y las direcciones de golpeo.

En la **Figura 2. 11** se presenta el resultado de una Down hole realizados en campo, es decir el compilado de las Ondas S y Ondas P del ensayo ejecutado en la perforación P-7. Los demás formatos se presentan en el **Anexo No. 4**.

En términos generales, los resultados observados en los cuatro sitios de perforación ensayados, mostraron dos tipos de materiales. El primero, hasta 4.5 a 7.5metros de profundidad, correspondientes a depósitos de suelos arcillosos de consistencia blanda a media, con velocidad de onda de corte entre 150 y 200 m/seg, los cuales son semejantes al Perfil de Suelo Tipo E establecido por el Reglamento NSR-10 Numeral A.2.4.4. El segundo, hasta la base de las perforaciones, correspondientes a depósitos de suelos arcillo limosos con algo de arena, de consistencia media a dura (suelos rígidos), con velocidad de onda de corte entre 200 y 400 m/seg, los cuales son semejantes al Perfil de Suelo Tipo D establecido por el Reglamento NSR-10 Numeral A.2.4.4.

Como excepción, en la perforación P-02 a partir de los 17.5 metros de profundidad, se presentaron velocidades de onda de corte del orden de 420 m/seg, los cuales son semejantes al Perfil de Suelo Tipo C establecido por el Reglamento NSR-10 Numeral A.2.4.4, correspondientes a suelos densos.



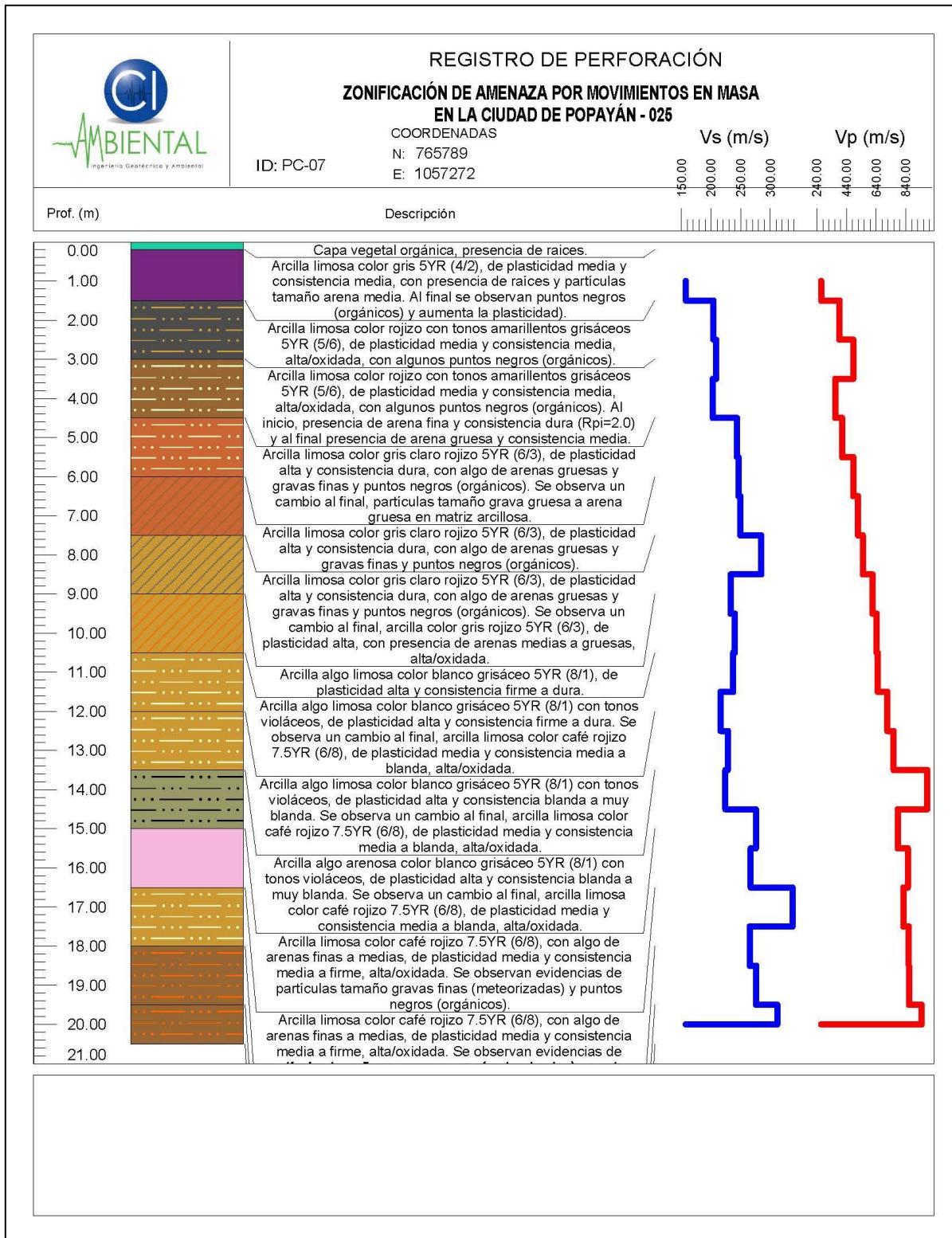


Figura 2. 11 Perfil de velocidades de ondas S y P en la perforación P-07, Barrio La Paz, Popayán.



Calle 171 # 21A-62 / tels.: (1) 671 2917 - 674 7748 / cel.: 316 876 6310 - 317 503 0960 - 317 503 0961 Bogotá, D.C.
Colombia Carrera 45 # 79-74 Edificio Palermo (701B) / tel.: (5) 356 5865 / cel.: 317 368 3370 Barranquilla, Colombia

2.3.2. ENSAYOS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

Este método se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas, tanto de compresión (ondas P) como de corte (ondas S), desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de receptores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición. Conociendo el tiempo de recorrido que las ondas emplean en recorrer la distancia que separa la fuente y los receptores, se puede determinar la velocidad de propagación del medio. A partir de los valores de velocidad se puede obtener un modelo del subsuelo compuesto por capas de velocidad constante y espesor variable. Este método es muy útil para determinar, de manera indirecta, la estratigrafía del subsuelo

La conformación del subsuelo por este método se validó con las perforaciones realizadas en el sector, con el fin de obtener un modelo geológico-geotécnico ajustado a las condiciones de campo. Las líneas sísmicas permiten cubrir mayor área que por medio de perforaciones, por lo tanto su empleo resulta óptimo para poder interpolar lo identificado en sitios específicos.

En total, se realizaron treinta y dos (32) líneas sísmicas del orden de 120 m de longitud cada una, ubicadas de acuerdo a las indicaciones del SGC, con el fin de obtener alcances entre 40 a 60 m de profundidad, permitiendo así identificar características de los suelos aflorantes en el sector de estudio y aportar datos para la determinación de las propiedades geomecánicas de los materiales, relevantes para los análisis y modelos de estabilidad que se emprendan en fases posteriores a este estudio.

En la **Figura 2. 1** se presenta la ubicación de las líneas realizadas, donde se observa la cobertura de este tipo de ensayo en el área de estudio (ver **Anexo 1**). En la **Tabla 2. 5** se relacionan las coordenadas de los puntos de inicio y final de cada una de las líneas, las cuales fueron obtenidas mediante un navegador de mano (GPS marca Garmin) en Sistema Magna Sirgas Origen Occidente.

El proceso de toma de datos en campo se realizó con el sismógrafo de 24 canales RAS-24 (ver **Figura 2. 12** a **Figura 2. 14**), con arreglos de 24 canales, los cuales se encuentran separados cada 5.0 metros, por tanto la longitud de exploración fue de 120 metros. El método de adquisición de datos depende de un impacto en superficie, realizado con un martillo de 30 lb, el cual es golpeado contra una placa de aluminio; seguidamente, mediante un sensor (Hammerswitch), manda un impulso electromagnético al equipo, el cual activa el registro de señales vibratorias de cada uno de los geófonos a profundidad durante un tiempo de lectura definido al inicio de las mediciones



**Tabla 2. 5 Localización de las líneas de refracción sísmica realizadas en el área de estudio.
(coordenadas planas Magna-Sirgas Origen Occidente).**

LINEA #	DESCRIPCIÓN UBICACIÓN	MUNICIPIO	LONGITUD (m)	PUNTO INICIO (#)		PUNTO FINAL (#')	
				X (mE)	Y (mN)	X (mE)	Y (mN)
LEP-01	Vereda Túnel Alto sobre la vía	POPAYÁN	120	1051063	759579	1051187	759578
LEP-02	Sobre la vía principal de la loma nueva troncal	POPAYÁN	120	1051361	760445	1051319	760332
LEP-03	Por la vía arriba de la cantera	POPAYÁN	120	1048205	762886	1048095	762839
LEP-04	Planicie subiendo casa de hermanos Gaviria	POPAYÁN	120	1051894	759745	1051927	759632
LEP-05	Al frente de la gran explanación por la vía	POPAYÁN	120	1049321	761592	1049396	761689
LEP-06	Cra 43 polideportivo	POPAYÁN	120	1049292	763264	1049324	763380
LEP-07	Sobre la exploración de la loma	POPAYÁN	120	1052535	760308	1052593	760412
LEP-08	Mirador Cerro de las Tres Cruces sobre la vía	POPAYÁN	120	1053611	761950	1053623	761831
LEP-09	Paralelo a la vía de acceso donde esta la estatua	POPAYÁN	120	1053104	762191	1053202	762120
LEP-10	Margen izquierda río Cauca por la variante	POPAYÁN	120	1049109	764186	1049227	764167
LEP-11	Vía Pueblillo delante del escarpe grande	POPAYÁN	120	1054492	762367	1054579	762450
LEP-12	Lote Barrio Nuevo Urbanización Yanacoma	POPAYÁN	120	1055171	762879	1055072	762796
LEP-13	Hacienda Yambilara	POPAYÁN	120	1055269	763996	1055152	763970
LEP-14	Corona Loma Club Campestre	POPAYÁN	120	1055714	764567	1055602	764524
LEP-15	Predio Gobernación aledaño a Perforación P-7	POPAYÁN	120	1057276	765785	1057380	765845
LEP-16	Por la Y al frente de casa rejas rojas cerca a la vía	POPAYÁN	120	1048615	761960	1048726	761915
LEP-17	En la loma cerca a la torre y cancha de fútbol	POPAYÁN	120	1050693	760548	1050710	760430
LEP-18	Barrio Plateado subiendo por la vía desvío a mano derecha	POPAYÁN	120	1052172	759924	1052280	759904
LEP-19	Torre del barrio Santa Inés	POPAYÁN	120	1053100	761031	1053224	761013
LEP-20	Cerca a la Iglesia de Belén sobre carretera	POPAYÁN	120	1053202	761451	1053313	761408
LEP-21	Vía al Huila, arriba de la montaña	POPAYÁN	120	1054363	762140	1054413	762251
LEP-22	Costado occidental paralela a la vía (variante)	POPAYÁN	120	1054572	766637	1054538	766512
LEP-23	Sobre la vía Vereda Alto Puelenge	POPAYÁN	120	1049539	761099	1049573	761208
LEP-24	En el parque adyacente escombrera San Marino	POPAYÁN	120	1049575	763650	1049535	763535
LEP-25	Al final de la vía, cerca ladrillera	POPAYÁN	120	1055081	762135	1055031	762019
LEP-26	Predio U. Cauca, parte posterior cercana a la vía	POPAYÁN	120	1058412	764954	1058311	765019
LEP-27	Sendero peatonal arriba de la vía principal	POPAYÁN	120	1048793	762823	1048894	762751
LEP-28	Sector plano de la cancha cerca al escarpe	POPAYÁN	120	1054297	759627	1054217	759723
LEP-29	Cerca a la margen derecha terminando la vía	POPAYÁN	120	1048314	764365	1048443	764369
LEP-30	Sobre la variante, obra en la vía a 200 metros	POPAYÁN	120	1048821	763735	1048739	763639
LEP-31	Vereda González, cra 5 con calle 65 Norte	POPAYÁN	120	1057321	765386	1057220	765339
LEP-32	U. Antonio Nariño, en el cerro cometas	POPAYÁN	120	1055237	765335	1055193	765228

Nota: La precisión de las coordenadas medidas mediante GPS fue de ±3 metros.





Figura 2. 12 Sismógrafo Seistronix RAS-24



Figura 2. 13 Geófonos



Figura 2. 14 Medición en Campo

El sistema cuenta con una Unidad de Control, geófonos verticales y horizontales (ondas P y ondas S respectivamente), el martillo, el Hammerswitch y algunos otros accesorios necesarios para el buen funcionamiento del sistema. Para el almacenamiento de los datos, el equipo utiliza el software RAS-24 (propio del sismógrafo Seistronix RAS-24), donde los datos de entrada de configuración son: el “sample rate”, el número de golpes, la ganancia, el tiempo de lectura y la sensibilidad del “trigger”, además de las posiciones del primer geófono del arreglo y el punto de golpeo. En la **Figura 2. 15** se presenta un mosaico de los datos registrados por medio del software RAS-24, durante la medición de las ondas S para la línea LEP-11.



Calle 171 # 21A-62 / tels.: (1) 671 2917 - 674 7748 / cel.: 316 876 6310 - 317 503 0960 - 317 503 0961 Bogotá, D.C.
Colombia Carrera 45 # 79-74 Edificio Palermo (701B) / tel.: (5) 356 5865 / cel.: 317 368 3370 Barranquilla, Colombia

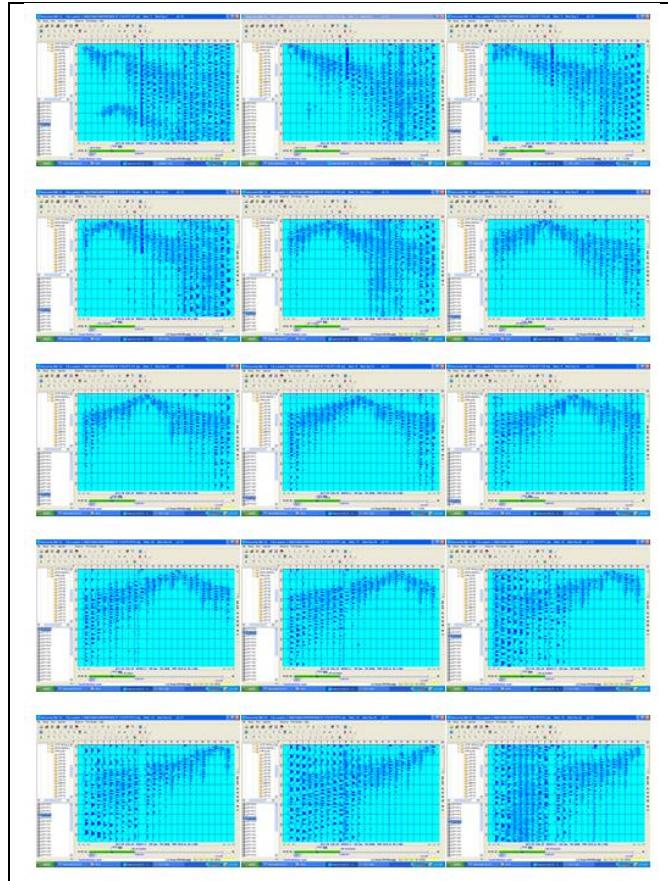


Figura 2. 15 Mosaico pantallazos ondas P (LEP-11)

Posterior a la adquisición de datos se hace uso del software RAYFRACT, el cual toma los datos recolectados por el equipo RAS-24, identifica los “timebreaks”, es decir, el tiempo que toma la onda de impacto para llegar a cada uno de los geófonos del arreglo, y a partir de interpolaciones genera tomografías del suelo, con las que, posterior a aun análisis de velocidades, facilitan la determinación los espesores de los diversos estratos del suelo.

Mediante dicho software, se identifican los primeros puntos de llegada de la onda a cada uno de los geófonos para cada golpe, dichos puntos de llegada son utilizados para una análisis matemático de cada una de las líneas, mediante el uso de la metodología propuesta por el “Explosive Excavation Research Laboratory Livermore de California”, en el documento “Seismic Refraction Exploration for Engineering site Investigations”. En la **Figura 2. 16** se presenta una imagen del análisis realizado para la línea LEP-11 correspondiente a las ondas P. De igual forma, en la **Figura 2. 17** se presenta una imagen del análisis realizado para la línea LEP-11 correspondiente a las Ondas S.



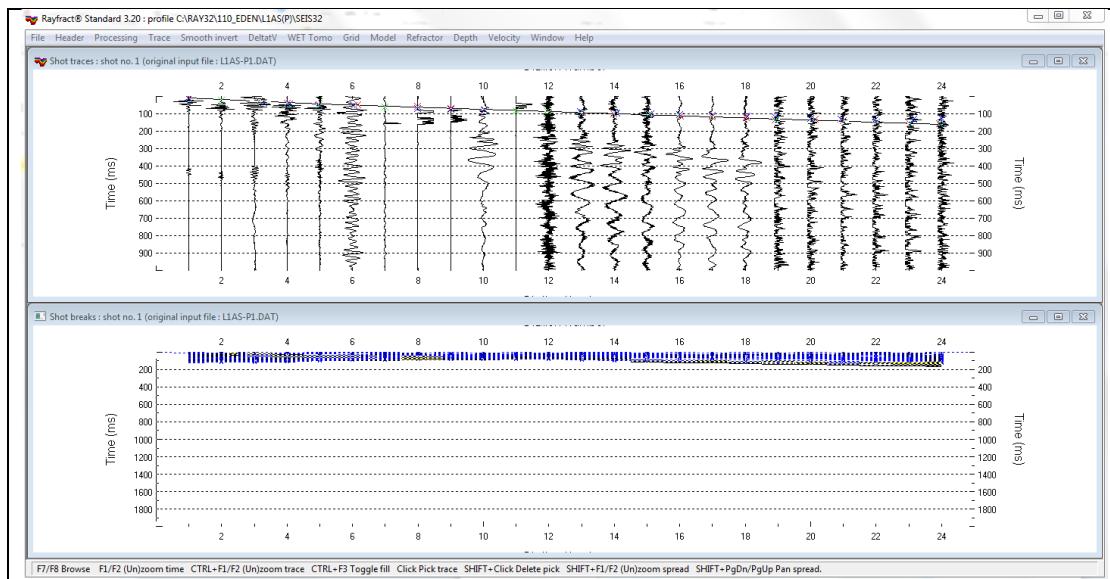


Figura 2. 16 Pantallazo Rayfract, LEP-11(Ondas P)

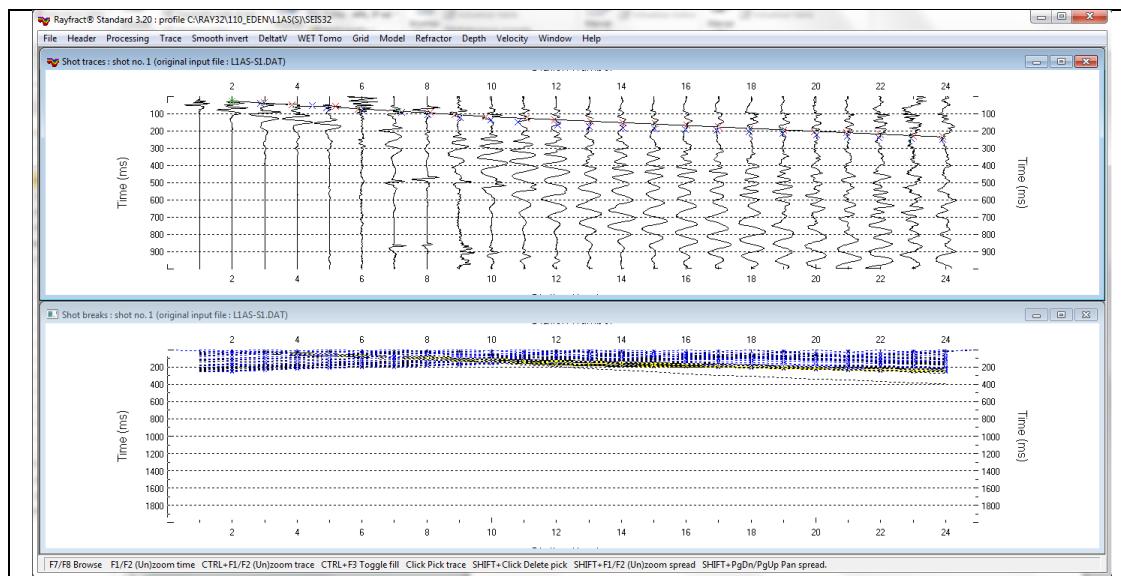


Figura 2. 17 Pantallazo Rayfract, LEP-11(Ondas S)

Se observa en las figuras anteriores como la onda de impacto en superficie, generada en diferentes puntos del arreglo se dispersa a diferentes velocidades de onda a lo largo de los estratos del suelo, y cada uno de los geófonos recibe su señal entrando en resonancia con la amplitud y frecuencia de dichas ondas. En la **Figura 2. 18** y la **Figura 2. 19** se presentan las pendientes de los Timebreaks y las Dromocronas correspondientes para la línea sísmica LEP-11 analizada. En el **Anexo 5** se presentan las dromocronas y tomografías de las diferentes líneas de refracción sísmica.



Calle 171 # 21A-62 / tels.: (1) 671 2917 - 674 7748 / cel.: 316 876 6310 - 317 503 0960 - 317 503 0961 Bogotá, D.C.
Colombia Carrera 45 # 79-74 Edificio Palermo (701B) / tel.: (5) 356 5865 / cel.: 317 368 3370 Barranquilla, Colombia

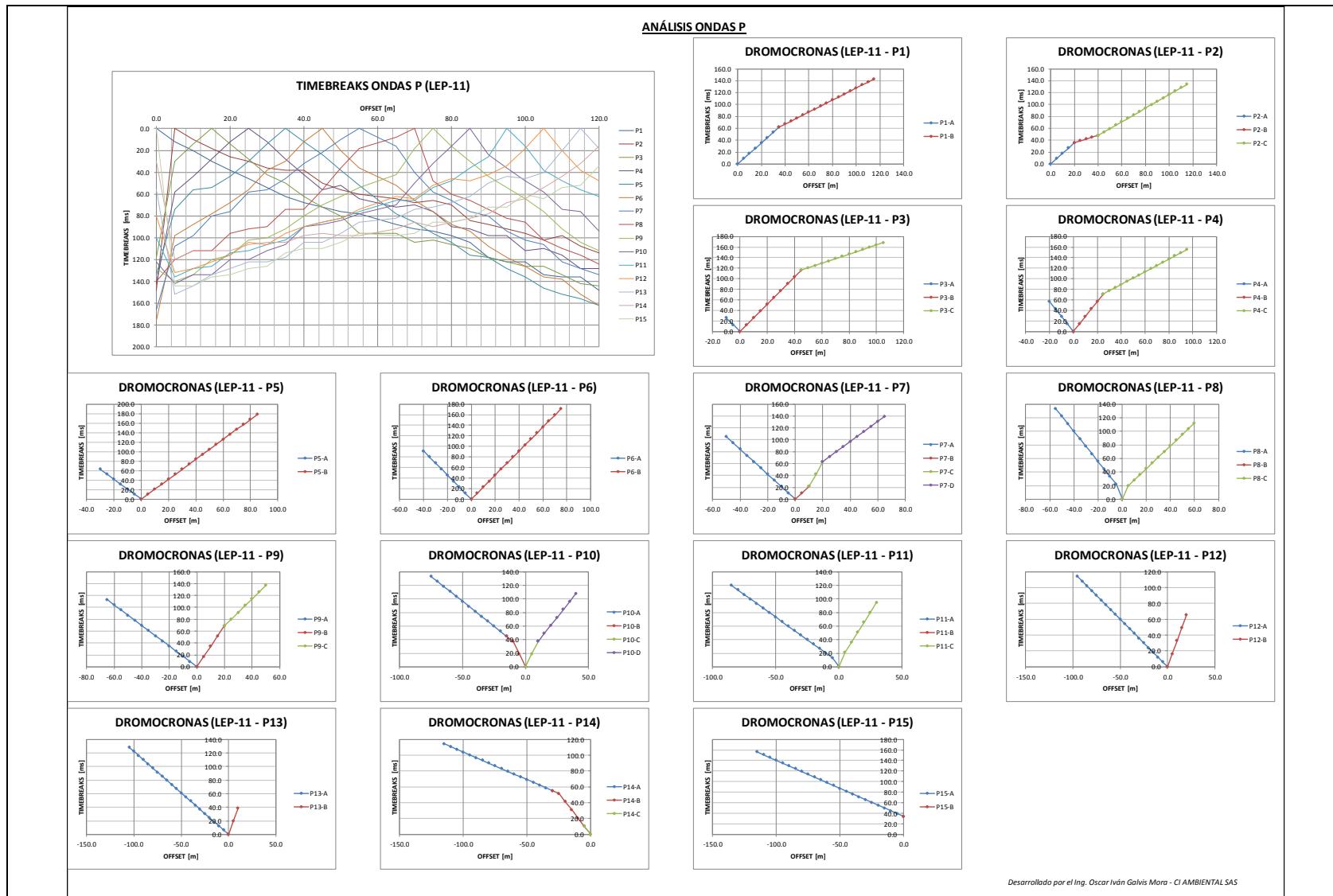


Figura 2.18 Timebreaks y Dromocronas, Ondas P (LEP-11)

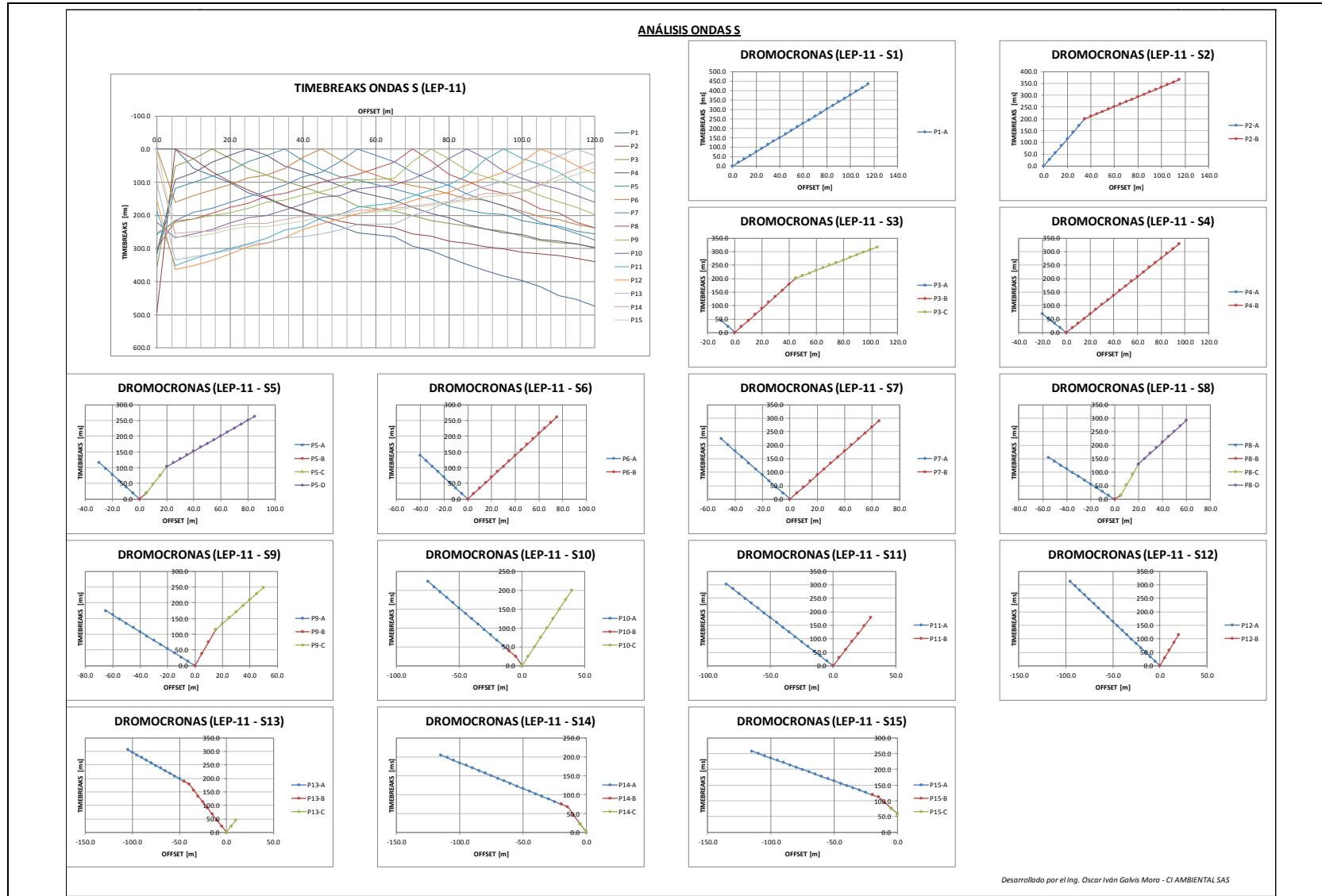


Figura 2. 19 Timebreaks y Dromocronas, Ondas S (LEP-11)

A partir del análisis de las dromocronas presentadas anteriormente, se determinan las diferentes pendientes que indican finalmente las velocidades características de cada uno de los estratos. Se observa en dichas dromocronas que a medida que se aumenta la distancia desde el punto de golpeo, se presentan cambios de pendientes a pendientes menores, lo que se traduce en mayores velocidades a profundidad, ya que se debe recordar que a medida que la onda se aleja del punto de golpeo, los geófonos reciben la señal a mayor profundidad.

Tabla 2. 6 Velocidades Ondas P (LEP-11)

VELOCITIES [m/s]															
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
564.52	555.56	387.32	351.56	477.18	438.93	476.19	450.82	576.92	681.82	752.21	833.33	819.67	1440.68	942.62	
	1666.67														
987.65															
	872.09														
		833.33													
			1153.85												
				238.10											
					592.11										
						290.70		265.96							
							441.18	428.57	340.91						
										304.88					
											483.87				
												258.62			

Tabla 2. 7 Velocidades Ondas S (LEP-11)

VELOCITIES [m/s]															
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
265.59	175.00	223.58	289.67	257.35	287.50	224.17	357.14	372.67	353.26	280.70	305.08	512.82	730.77	688.41	
	484.85														
				178.57											
					408.81										
		517.24													
				129.31	131.58				200.00						
						246.91		261.19							
							168.27								
									173.61						
										222.22		277.78			

En la **Tabla 2. 6** y la **Tabla 2. 7**, se presentan las velocidades calculadas para cada uno de los puntos de golpeo. A partir de dichas velocidades y en comparación con las tomografías del terreno generadas por medio del software Rayfract (ver **Figura 2. 20** y **Figura 2. 21**), se determinan los espesores de cada estrato, relacionados con sus velocidades de transmisión de Ondas P y Ondas S.



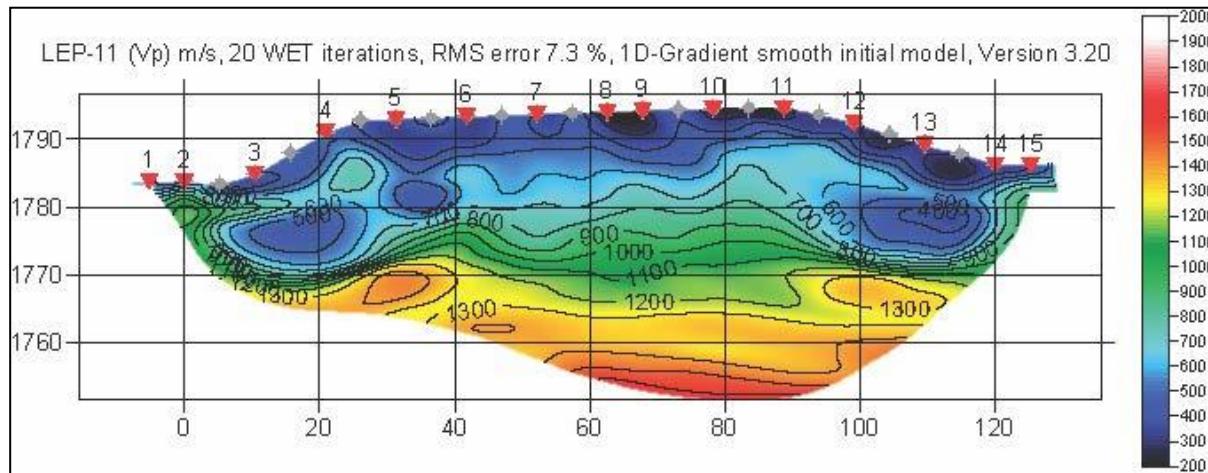


Figura 2. 20 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda P (Vp), LEP-11

Una vez adquiridos los datos de las velocidades de ondas compresionales (Vp) y de corte (Vs) con sus respectivas profundidades, se procede a la interpretación de los resultados con fines de caracterización geomecánica y propósitos ingenieriles, para lo cual se adaptaron algunos de los criterios establecidos por el Reglamento NSR-10 Numeral A.2.4.4 (ver **Anexo 7**), proporcionando una aproximación del tipo de perfil presente (ver **Tabla 2. 8**).

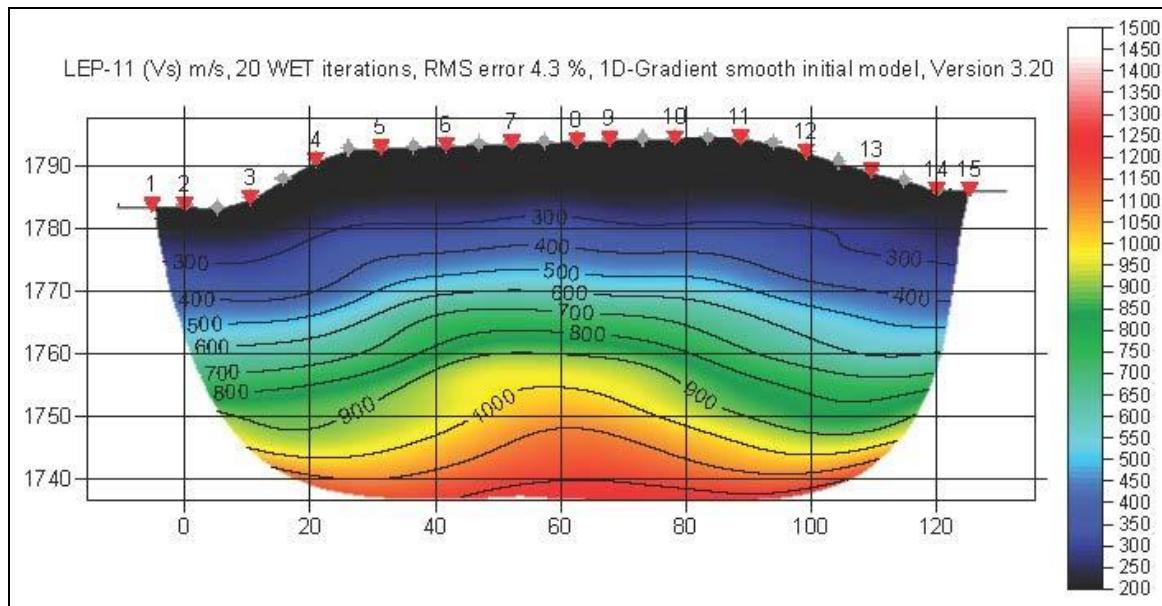


Figura 2. 21 Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda S (Vs), LEP-11

A manera de ilustración, en la **Figura 2. 22** se presenta la interpretación de los tipos de material identificados en la Línea LEP-11. Los resultados crudos y las respectivas interpretaciones de las demás líneas sísmicas ejecutadas se presentan en el **Anexo 5**.

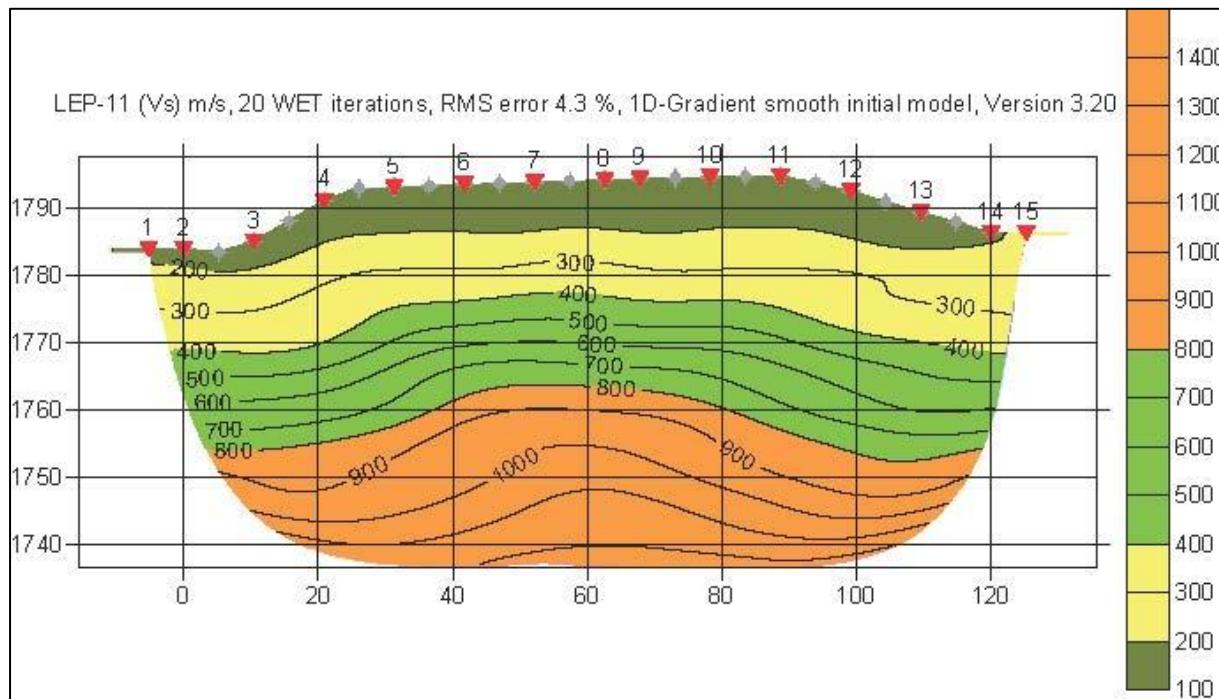


Figura 2. 22 Tomografía analizada del Terreno, Velocidades de Onda S (Vs), LEP-11

Tabla 2. 8 Clasificación de los tipos de perfiles de suelo en función de la velocidad de onda de corte.

TIPO DE PERFIL	COLOR	RANGO Vs (m/s)	DESCRIPCIÓN
A		$Vs \geq 1500$	Roca competente, sana
B		$1500 > Vs \geq 800$	Roca de rigidez media, meteorizada
C		$800 > Vs \geq 400$	Suelos muy densos o roca blanda, muy meteorizada
D		$400 > Vs \geq 200$	Suelos rígidos o de consistencia dura
E		$200 > Vs$	Arcillas de consistencia blanda a media

Posteriormente, la **Tabla 2. 9** presenta los valores estimados de G, E, v y K a partir de las velocidades medidas en terreno, con el fin de obtener parámetros geomecánicos de los materiales identificados en cada uno de los estratos de las líneas sísmicas realizadas. De esta manera se estimaron parámetros elásticos (estático y dinámico) mediante expresiones para medios isotrópicos en función de las velocidades medidas (teoría elástica), así:

Relación de Poisson:

$$\nu = \frac{\frac{V_p^2}{V_s^2} - 2}{2\frac{V_p^2}{V_s^2} - 2}$$

Módulo de Young:

$$E = \rho V_p^2 \frac{3\nu_p^2 - 4\nu_s^2}{\nu_p^2 - \nu_s^2}$$

Módulo de Corte:

$$G = \rho V_s^2$$

Módulo de Deformación Volumétrica:

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

Donde ρ es la densidad del material (homólogo al peso unitario del suelo). Se recomienda que las anteriores hipótesis y apreciaciones sean verificadas, complementadas y/o ajustadas una vez se cuente con los resultados de los ensayos de laboratorio, apoyados en la cartografía geológica detallada y el modelo geológico-estructural establecido para la zona de estudio.

Tabla 2. 9 Estratos identificados y estimación de parámetros geomecánicos.

ESTRATO	LÍNEA	VELOCIDADES [m/s]		TIPO DE PERFIL	PROFUNDIDA D [m]	G [Mpa]	E [Mpa]	v	K [Mpa]
		Vp	Vs						
1	LEP-01	400	275	D	10	1.51E+06	3.18E+06	0.05	1.18E+06
2		1050	575	C	20	6.61E+06	1.70E+07	0.29	1.32E+07
3		2150	1150	B	30	2.65E+07	6.87E+07	0.3	5.72E+07
4		3100	1950	A	55	7.61E+07	1.78E+08	0.17	9.08E+07
1	LEP-02	425	275	D	15	1.51E+06	3.45E+06	0.14	1.60E+06
2		775	550	C	45	6.05E+06	1.20E+07	0.01	4.06E+06
3		1425	1100	B	70	2.42E+07	3.69E+07	0.24	2.34E+07
4		2175	1725	A	85	5.95E+07	7.76E+07	0.35	8.50E+07
1	LEP-03	475	195	D	20	6.13E+05	1.74E+06	0.42	3.70E+06
2		775	450	C	40	4.05E+06	1.04E+07	0.29	8.21E+06
3		1200	770	B	60	1.05E+07	2.75E+07	0.31	2.38E+07
4		1750	1500	A		2.88E+07	7.65E+07	0.33	7.44E+07
1	LEP-04	400	250	D	10	1.25E+06	2.95E+06	0.18	1.53E+06
2		950	600	C	20	7.20E+06	1.68E+07	0.17	8.45E+06
3		1900	1450	B	30	4.21E+07	6.75E+07	0.2	3.72E+07
4		3250	2500	A	60	1.25E+08	1.94E+08	0.22	1.17E+08
1	LEP-05	400	150	E	5	4.50E+05	1.28E+06	0.42	2.60E+06
2		800	275	D	15	1.51E+06	4.33E+06	0.43	1.08E+07
3		1900	550	C	35	6.05E+06	1.76E+07	0.45	6.41E+07
4		2900	1125	B	60	2.53E+07	7.15E+07	0.41	1.34E+08
5		3200	1750	A	70	6.13E+07	1.58E+08	0.29	1.23E+08
1	LEP-06	500	287.5	D	15	1.65E+06	4.14E+06	0.25	2.80E+06
2		1300	562.5	C	55	6.33E+06	1.75E+07	0.38	2.54E+07
3		2500	1100	B	70	2.42E+07	6.68E+07	0.38	9.27E+07
1	LEP-07	275	150	E	15	4.50E+05	1.16E+06	0.29	9.13E+05
2		725	280	D	30	1.57E+06	4.43E+06	0.41	8.42E+06
3		1250	555	C	42.5	6.16E+06	1.70E+07	0.38	2.30E+07
4		2000	1075	B	50	2.31E+07	5.99E+07	0.3	4.92E+07
1	LEP-08	400	150	E	10	4.50E+05	1.28E+06	0.42	2.60E+06
2		800	275	D	15	1.51E+06	4.33E+06	0.43	1.08E+07
3		1400	550	C	45	6.05E+06	1.70E+07	0.41	3.11E+07
4		2500	1125	B	60	2.53E+07	6.95E+07	0.37	9.13E+07
1	LEP-09	600	280	D	42.5	1.57E+06	4.27E+06	0.36	5.11E+06
2		1650	420	C	70	3.53E+06	1.03E+07	0.47	4.97E+07
1	LEP-10	600	300	D	10	1.80E+06	4.80E+06	0.33	4.80E+06
2		1750	600	C	45	7.20E+06	2.06E+07	0.43	5.17E+07
3		3000	1000	B	60	2.00E+07	5.75E+07	0.44	1.53E+08
1	LEP-11	550	270	D	17.5	1.46E+06	3.91E+06	0.34	4.11E+06
2		1200	545	C	32.5	5.94E+06	1.63E+07	0.37	2.09E+07
3		2250	925	B	57.5	1.71E+07	4.79E+07	0.4	7.84E+07
1	LEP-12	525	290	D	25	1.68E+06	4.31E+06	0.28	3.27E+06
2		1025	555	C	60	6.16E+06	1.59E+07	0.29	1.28E+07

ESTRATO	LÍNEA	VELOCIDADES [m/s]		TIPO DE PERFIL	PROFUNDIDA D [m]	G [Mpa]	E [Mpa]	v	K [Mpa]
		Vp	Vs						
1	LEP-13	650	250	D	22.5	1.25E+06	3.53E+06	0.41	6.78E+06
2		1150	525	C	45	5.51E+06	1.51E+07	0.37	1.91E+07
3		1800	1125	B	57.5	2.53E+07	5.97E+07	0.18	3.11E+07
4		3100	1750	A	72.5	6.13E+07	1.55E+08	0.27	1.11E+08
1	LEP-14	650	275	D	22.5	1.51E+06	4.21E+06	0.39	6.43E+06
2		1350	550	C	55	6.05E+06	1.69E+07	0.4	2.84E+07
3		2350	1050	B	75	2.21E+07	6.06E+07	0.38	8.11E+07
1	LEP-15	525	275	D	15	1.51E+06	3.97E+06	0.31	3.50E+06
2		1250	550	C	30	6.05E+06	1.67E+07	0.38	2.32E+07
3		2000	1075	B	35	2.31E+07	5.99E+07	0.3	4.92E+07
4		3125	2000	A	45	8.00E+07	1.84E+08	0.15	8.86E+07
1	LEP-16	400	275	D	25	1.51E+06	3.18E+06	0.05	1.18E+06
2		750	500	C	45	5.00E+06	1.10E+07	0.1	4.58E+06
1	LEP-17	330	275	D	20	1.51E+06	4.95E+06	0.64	6.05E+06
2		730	475	C	40	4.51E+06	1.02E+07	0.13	4.64E+06
1	LEP-18	350	137.5	E	17.5	3.78E+05	1.07E+06	0.41	1.95E+06
2		850	262.5	D	40	1.38E+06	3.99E+06	0.45	1.26E+07
3		1600	550	C	55	6.05E+06	1.73E+07	0.43	4.31E+07
4		2500	975	B	60.5	1.90E+07	5.36E+07	0.41	9.97E+07
1	LEP-19	475	275	D	27.5	1.51E+06	3.77E+06	0.25	2.50E+06
2		1125	550	C	42.5	6.05E+06	1.62E+07	0.34	1.72E+07
3		2350	1025	B	55	2.10E+07	5.81E+07	0.38	8.24E+07
1	LEP-20	475	280	D	20	1.57E+06	3.87E+06	0.23	2.42E+06
2		1000	530	C	40	5.62E+06	1.47E+07	0.3	1.25E+07
3		2000	1050	B	45	2.21E+07	5.78E+07	0.31	5.06E+07
4		3375	2100	A	55	8.82E+07	2.09E+08	0.18	1.10E+08
1	LEP-21	300	125	E	4	3.13E+05	8.72E+05	0.39	1.38E+06
2		600	250	D	12.5	1.25E+06	3.49E+06	0.39	5.53E+06
3		1050	550	C	27.5	6.05E+06	1.59E+07	0.31	1.40E+07
4		1650	850	B	41.5	1.45E+07	3.81E+07	0.32	3.52E+07
1	LEP-22	600	275	D	15.5	1.51E+06	4.14E+06	0.37	5.18E+06
2		1100	550	C	52.5	6.05E+06	1.61E+07	0.33	1.61E+07
3		1900	1075	B	70	2.31E+07	5.85E+07	0.26	4.14E+07
4		3200	1700	A	77.5	5.78E+07	1.51E+08	0.3	1.28E+08
1	LEP-23	600	275	D	30	1.51E+06	4.14E+06	0.37	5.18E+06
2		1250	550	C	60	6.05E+06	1.67E+07	0.38	2.32E+07
3		1950	1125	B	80	2.53E+07	6.33E+07	0.25	4.23E+07
4		2950	1750	A	90	6.13E+07	1.50E+08	0.23	9.24E+07
1	LEP-24	300	150	E	7	4.50E+05	1.20E+06	0.33	1.20E+06
2		700	300	D	20	1.80E+06	5.00E+06	0.39	7.40E+06
3		1250	600	C	30	7.20E+06	1.94E+07	0.35	2.17E+07
4		1750	950	B	50	1.81E+07	4.66E+07	0.29	3.72E+07

ESTRATO	LÍNEA	VELOCIDADES [m/s]		TIPO DE PERFIL	PROFUNDIDA D [m]	G [Mpa]	E [Mpa]	v	K [Mpa]
		Vp	Vs						
1	LEP-25	600	275	D	30	1.51E+06	4.14E+06	0.37	5.18E+06
2		1500	525	C	60	5.51E+06	1.58E+07	0.43	3.77E+07
3		2500	800	B	70	1.28E+07	3.69E+07	0.44	1.08E+08
1	LEP-26	450	270	D	20	1.46E+06	3.55E+06	0.22	2.11E+06
2		1100	545	C	30	5.94E+06	1.59E+07	0.34	1.63E+07
3		1750	875	B	50	1.53E+07	4.08E+07	0.33	4.08E+07
4		2600	1650	A	60	5.45E+07	1.27E+08	0.16	6.26E+07
1	LEP-27	500	275	D	42.5	1.51E+06	3.88E+06	0.28	2.98E+06
2		1000	550	C	62.5	6.05E+06	1.55E+07	0.28	1.19E+07
3		1600	1025	B	77.5	2.10E+07	4.84E+07	0.15	2.32E+07
4		2700	1750	A	92.5	6.13E+07	1.39E+08	0.14	6.41E+07
1	LEP-28	370	250	D	20	1.25E+06	2.70E+06	0.08	1.07E+06
2		770	400	C	40	3.20E+06	8.42E+06	0.32	7.59E+06
1	LEP-29	650	275	D	25	1.51E+06	4.21E+06	0.39	6.43E+06
2		1200	550	C	32.5	6.05E+06	1.65E+07	0.37	2.07E+07
3		1900	850	B	40	1.45E+07	3.97E+07	0.37	5.29E+07
1	LEP-30	750	270	D	45	1.46E+06	4.16E+06	0.43	9.31E+06
2		1350	420	C	55	3.53E+06	1.02E+07	0.45	3.17E+07
1	LEP-31	700	300	D	15	1.80E+06	5.00E+06	0.39	7.40E+06
2		1500	600	C	50	7.20E+06	2.02E+07	0.4	3.54E+07
1	LEP-32	300	150	E	10	4.50E+05	1.20E+06	0.33	1.20E+06
2		700	300	D	40	1.80E+06	5.00E+06	0.39	7.40E+06
3		1500	450	C	55	4.05E+06	1.17E+07	0.45	3.96E+07

Por otro lado, las ondas compresionales o primarias (Vp) se caracteriza por presentar frecuencias altas, velocidades altas y amplitud baja. Las velocidades obtenidas para este tipo de ondas son fundamentales, ya que en conjunto con la velocidad de onda de corte (Vs), ambas directamente medidas en terreno, permitieron estimar los parámetros geomecánicos (v,E,G) con una alta confiabilidad, con el fin de complementar el perfil estratigráfico del subsuelo establecido de forma integral junto con datos provenientes de exploración geotécnica y observación geológica.

En el **Anexo 7** se presentan una serie de tablas provenientes de fuentes bibliográficas, algunas ampliamente conocidas, con fines de correlación litológica, en función de rangos de valores de la velocidad de onda compresional (Vp), sin embargo, algunas relacionan su correspondiente velocidad de onda de corte (Vs) y las condiciones de agua presentes en los materiales. Igualmente, tales tablas deberán aplicarse e interpretarse de forma conjunta con la cartografía geológica y los datos geotécnicos obtenidos de los ensayos de laboratorio.



3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las perforaciones alcanzaron las profundidades deseadas (15 a 20 m), ejecutando en total 152 metros de longitud.
- Se realizó un registro fotográfico de la recuperación de las muestras, con el fin de complementar los datos consignados en los registros de perforación.
- Las muestras recuperadas se conservaron y protegieron de la manera adecuada, posteriormente se remitieron al Servicio Geológico Colombiano.
- Los ensayos Down Hole se realizaron de forma continua cada metro, hasta alcanzar la base de las perforaciones seleccionadas.
- Durante las labores de perforación y de exploración geofísica se presentaron lluvias que generaron inconvenientes y algunos retrasos en la programación, sin embargo fueron manejables.
- Se realizó en su totalidad la exploración geofísica del subsuelo, compuesta de líneas de refracción sísmica y ensayos tipo Down Hole.
- En síntesis, la exploración de campo ejecutada se compone de 9 perforaciones (152 metros en total perforados), 4 ensayos Down Hole y 32 líneas de refracción sísmica.
- Por lo general, las perforaciones identificaron, a excepción de la P-06, unidades de suelos residuales de tipo cohesivo y de textura predominantemente arcillosa.
- En términos generales, los resultados de Down Hole identificaron dos tipos de materiales: el primero, hasta 4.5 a 7.5metros de profundidad, correspondientes a depósitos de suelos arcillosos de consistencia blanda a media, con velocidad de onda de corte entre 150 y 200 m/seg, y el segundo, hasta la base de las perforaciones, correspondientes a depósitos de suelos arcillo limosos con algo de arena, de consistencia media a dura (suelos rígidos), con velocidad de onda de corte entre 200 y 400 m/seg.
- Los resultados de la sísmica de refracción fueron interpretados desde el punto de vista geomecánico, en función de las velocidades de ondas de corte (V_s) con sus respectivas profundidades, adaptando algunos de los criterios establecidos por el Reglamento NSR-10 Numeral A.2.4.4, lo que proporcionó una aproximación del tipo de perfil presente. Se identificaron por lo general perfiles de suelos tipo E, D y C, correspondientes a suelos cohesivos de consistencias blandas a duras. Sin embargo, se identificaron perfiles tipo B y en menor proporción tipo A, correspondientes a roca de rigidez media y sana respectivamente. Los alcances de las líneas oscilaron entre los 50 y 60 metros de profundidad.
- Se recomienda que las hipótesis y apreciaciones consignadas en este informe, sean verificadas, complementadas y/o ajustadas una vez se cuente con los resultados de

los ensayos de laboratorio, apoyados en la cartografía geológica detallada y el modelo geológico-estructural establecido para la zona de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

American Society for Testing Materials (ASTM). D7400 – 08 Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing.

Acker drill company. SOIL-SCOUT STANDARD FEATURES [On line]. Available: <http://www.ackerdrill.com/files/pdfs/soil_scout_highres.pdf>. December 2014.

Asociación de Ingeniería Sísmica, AIS (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Bogotá D.C.

Olson Instruments. Technical notes Crosshole/Downhole Seismic (CS/DS) [On line]. Available: <http://www.olsoninstruments.com/pdf_downloads/catOI_csd.pdf>. December 2014.

Servicio Geológico Colombiano, SGC (2015). Mapa de Unidades Geológicas para Ingeniería, formato pdf y shp, versión final, Febrero 11/15, Bogotá D.C.





REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P1

COORDENADAS

N:763572

E:1054916

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00		M-1		HQ	
1.00		M-2		HQ	
2.00		M-3		HQ	
3.00	Arcilla limosa color rosado 2.5YR (7/6) de alta plasticidad y consistencia media. Se observa gran cantidad de partículas finas, minerales mica y pomez color blancuzcas y algo brillantes y vetas de manganeso (manchas negras).				
4.00		M-4		HQ	
5.00	Arcilla limosa color rosado claro 5YR (7/4), de plasticidad y consistencia media. Se observan granos de pomez, mica y manganeso en gran proporción tamaño arena muy fina a gruesa.			HQ	
6.00		M-5		HQ	
7.00	Arcilla limoarenosa color rosado claro 5YR (7/4) de plasticidad baja y consistencia blanda, oxidada. Se observan granos de pomez y mica tamaño arena que varia de fina a gruesa y fragmentos de manganeso desintegrado.			HQ	
8.00		M-6		HQ	
9.00		M-7		HQ	
10.00		M-8		HQ	
11.00	Arcilla limoarenosa color rosado claro 5YR (7/4) de plasticidad y consistencia blanda, con matriz arcillosa color gris claro con lentes de arena de granos que varían de finos a gruesos.			HQ	
12.00		M-9		HQ	
13.00		M-10		HQ	
14.00					
15.00					



REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P2

COORDENADAS

N:761417

E:1050732

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00	Arcilla color rojizo 5YR (5/8) con vetas naranja, de consistencia blanda y plasticidad baja, oxidada.	M-1		HQ	
1.00	Arcilla color rojizo 5YR (5/8), de plasticidad alta y consistencia blanda.	M-2		HQ	
2.00		M-3		HQ	
3.00	Arcilla color rojizo 5YR (5/8) con vetas café oscuro, de alta plasticidad y consistencia blanda.	M-4		HQ	2.90
4.00		M-5		HQ	
5.00		M-5A		HQ	
6.00		M-6		HQ	
7.00	Arcilla color café oscuro 5YR (5/8), de alta plasticidad y consistencia media.	M-7		HQ	
8.00		M-8		HQ	
9.00		M-9		HQ	
10.00	Arcilla color café oscuro 5YR (5/8), de alta plasticidad y consistencia media. Se observan lentes de arena arcillosa color habano medio 5YR (7/6) con intrusiones de granos color negro, tamaño arena gruesa.	M-10		HQ	
11.00		M-11		HQ	
12.00	Arcilla color café oscuro 5YR (5/8), de alta plasticidad y consistencia media. Se observan granos de arena de tamaño que varía de fino a grueso color habano medio 5YR (7/6).	M-12		HQ	
13.00		M-13		HQ	
14.00		M-14		HQ	
15.00		M-15		HQ	
16.00	Arcilla color café oscuro 5YR (5/8) de alta plasticidad y consistencia media. Se observan granos de arena de tamaño que varía de fino a grueso color habano medio 5YR (7/6) y granos negros.	M-16		HQ	
17.00		M-17		HQ	
18.00		M-18		HQ	
19.00	Arcilla color café 5YR (6/8) con lentes de arena color café claro 5YR (7/6), de consistencia media y plasticidad alta.	M-19		HQ	
20.00	Arcilla color café 5YR (6/8) con mayor proporción de arena tamaño grueso color blanco con vetas de oxidación, de consistencia media y plasticidad alta.	M-20		HQ	
21.00	Arcilla arenosa color café 5Y5 (6/8) con vetas de oxidación, de alta plasticidad y consistencia media.	M-21		HQ	
		M-22		HQ	
		M-23		HQ	
		M-24		HQ	
		M-25		HQ	
		M-26		HQ	
		M-27		HQ	
		M-28		HQ	
		M-29		HQ	
		M-30		HQ	



REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P3

COORDENADAS

N:759988

E:1052318

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00					
1.00	Lodo color habano oscuro, mezcla de material residual con capa vegetal y arena de grano muy fino.	M-1	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
2.00		-	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
3.00	Arcilla limosa color habano medio 7.5YR (6/6), de plasticidad baja y consistencia blanda. Se observan granos de cuarzo tamaño arena fina a gruesa.	M-2	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
4.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
5.00	Arcilla limosa color habano medio 7.5YR (6/6), de plasticidad baja y consistencia blanda. Se observan fragmentos tamaño grava subelongada y redondeada.	M-3	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
6.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
7.00	Arcilla limosa color habano medio 7.5YR (6/6), de plasticidad baja y consistencia blanda.	M-4	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	7.00
8.00		M-5	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
9.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
10.00	Arcilla limosa color habano medio 7.5YR (6/6), de plasticidad alta y consistencia media. Se observan algunos granos muy finos de pomez (puntos blancos).	M-6	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
11.00	Arcilla color habano claro 7.5YR (6/8), de alta plasticidad y consistencia media. Se observan granos muy finos de color blanco y negro (pomez y mica).	M-7	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
12.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
13.00	Arcilla color habano claro 7.5YR (6/8), de alta plasticidad y consistencia media. Se observan granos muy finos de color blanco y negro (pomez y mica). Al final se observa una veta de 1cm aproximadamente de manganeso (mancha negra).	M-8	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
14.00		M-9	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
15.00	Arcilla limosa color rojizo 5YR (6/6), de alta plasticidad y consistencia media. Se observan granos muy finos de color blanco y negro (pomez y mica).		<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
16.00	Arcilla arenosa color rojizo 5YR (6/6), con granos tamaño grueso color blanco y negro, presencia de gravas redondeadas y una intrusión de una roca meteorizada color blancuzco, de plasticidad media y consistencia blanda.	M-10	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
17.00		M-11	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
18.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
19.00	Arcilla limoarenosa colr rojizo 5YR (6/6) con granos tamaño arena que varía de fino a grueso y gravas redondeadas. Se observa intrusiones de una roca meteorizada blanca, estilo marga, de plasticidad media y consistencia blanda.	M-12	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
20.00		M-13	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	



REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P4

COORDENADAS

N:760994

E:1049210

Prof. (m)

Descripción

Muestras

Alterada
Inalterada



RQD (%)

N.F. (m)

0.00	Arena arcillosa de grano fino color habano medio 7.5YR (6/6), de plasticidad baja y densidad suelta.	M-1	 HQ
0.20			
0.40	Arcilla arenosa color habano claro 7.5YR (6/8), con lentes de arena de grano fino, de plasticidad y consistencia media.	M-2	 HQ
1.00			
1.20			 HQ
1.40			
1.60			
1.80			
2.00			
2.20			
2.40			
2.60			
2.80			



REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P4A

COORDENADAS

N:760999

E:1049441

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00	Arena arcillosa color habano medio 7.5YR (5/8), de grano fino, plasticidad baja y densidad suelta.	M-1	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
1.00	Arcilla con lentes de arena de grano fino color habano medio 7.5YR (5/8), de plasticidad media y consistencia blanda.	M-2	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
2.00	Arcilla color habano medio 7.5YR (5/8), de plasticidad media y consistencia blanda. Al final la consistencia es mas firme.	M-3	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
3.00	Arcilla color habano medio 7.5YR (5/8), de plasticidad media y consistencia blanda. Se observan granos de pomez (puntos blancos) del tamaño de arena gruesa y fragmentos o granos de magnetita (puntos negros)	M-4	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
4.00		M-5	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
5.00		M-6	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
6.00		M-7	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
7.00	Arcilla color habano medio 7.5YR (5/8), de plasticidad y consistencia media. Se e observan granos de pomez (puntos blancos) del tamaño de arena gruesa, fragmentos o granos de magnetita (puntos negros) y cristales de cuarzo.	M-8	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
8.00		M-9	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	7.80
9.00		M-10	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
10.00		M-11	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
11.00		M-12	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
12.00	Arcilla color habano medio 7.5YR (5/8), de plasticidad media y consistencia dura. Se e observan granos de pomez (puntos blancos) del tamaño de arena gruesa, fragmentos o granos de magnetita (puntos negros) y cristales de cuarzo.	M-13	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
13.00		M-14	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
14.00		M-15	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	HQ	
15.00	Arcilla arenosa color habano medio 7.5YR (5/8), de plasticidad media y consistencia dura. Se observa alto contenido de minerales como mica, cuarzo y pomez, tamaño arena gruesa.				
16.00					
17.00					
18.00	Arcilla arenosa color rojizo 2.5YR (6/3), de alta plasticidad y consistencia dura. Se observan láminas de mica (material brillante), granos de pomez y cuarzo tamaño arena gruesa y vetas de manganeso (manchas negras).				
19.00	Arcilla arenosa color rojizo 2.5YR (6/3) de alta plasticidad y consistencia media. Se observan láminas de mica (material brillante), granos de pomez y cuarzo tamaño arena gruesa y vetas de manganeso (manchas negras).				
20.00					
21.00					



REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P5

COORDENADAS

N:762920

E:1049588

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00					
1.00					
2.00					
3.00	Material orgánico capa vegetal, arena arcillosa color habano muy oscuro 5YR 4/3 con raíces y fragmentos de grava. Presenta densidad suelta.	-	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	3.00
4.00		M-1	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
5.00	Arcilla limosa color habano oscuro 5YR (4/4), de baja plasticidad y consistencia media.	M-3	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
6.00	Arcilla limosa color habano claro 5YR (6/8), de baja plasticidad y consistencia blanda.		<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
7.00	Arcilla arenosa color habano oscuro 5YR (4/6), de plasticidad baja y consistencia blanda.	M-4	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
8.00	Arcilla limosa color habano oscuro 5YR (4/6), de plasticidad y consistencia media.	M-5	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
9.00	Arcilla limosa color habano claro 5YR (6/8), de alta plasticidad y consistencia media.		<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
10.00	Arcilla limosa color habano claro 5YR (6/8), de alta plasticidad y consistencia media. Al final se observa un fragmento de manganeso como núcleo de la arcilla limosa.	M-6	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
11.00	Arcilla limosa color habano claro 5YR (6/8) con matriz arcillosa en la cual se observan granos de pomez (puntos blancos) y manganeso (fragmento negro), de plasticidad media y consistencia blanda.	M-7	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
12.00	Arcilla limosa color habano claro 5YR (6/8), de plasticidad y consistencia media.	M-8	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
13.00		M-9	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
14.00	Arcilla limosa color habano claro 5YR (6/8), de alta plasticidad y consistencia media. Presenta fracturas. Se observan granos de pomez (puntos blancos) y manganeso (puntos negros) del tamaño de arenas gruesas a finas.	M-10	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
15.00		M-11	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
16.00					
17.00	Arcilla arenosa color habano claro 5YR (6/8), de alta plasticidad y consistencia media. Presenta fracturas. Se observan granos de pomez (puntos blancos) y manganeso (puntos negros) del tamaño de arenas gruesas a finas.				
18.00					



REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P6

COORDENADAS

N:764174

E:1048169

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00	Material de relleno constituido por gravas y escombro.	M-1	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
1.00	Limo arenoso color café oscuro 5YR (5/6) de consistencia media y plasticidad baja.		<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
2.00	Limo con lentes de arena y gravas. Se observa roca de color gris oscuro 2.5YR (5/2) y roca color café amarillento 10R (5/8).	M-2	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
3.00	Arcilla arenosa color café amarillento 5YR (6/8), de plasticidad media. Se observa fragmentos de roca negra con cuarzo y vetas de oxidación.	M-3	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
4.00	Arcilla con lentes de arena color marrón rojizo, de consistencia media y alta plasticidad.	M-4	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
5.00	Arcilla color marrón rojizo de alta plasticidad y consistencia media.	M-5	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
6.00	Arcilla amarilla 5YR (6/6) de plasticidad media y consistencia dura. Se observa un lente de arcilla color claro de aproximadamente 10 cm y manchas color habano claro, tipo ceniza y manchas de color negro .	M-6	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
7.00	Arcilla amarilla 5YR (6/8) de alta plasticidad y consistencia dura con lentes de arena muy fina, residuos de grava angulosa y vetas de oxidación color naranja oscuro.	M-7	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
8.00	Arcilla amarilla 5YR (6/6) de plasticidad media y consistencia dura. Se observa un lente de arcilla color claro de aproximadamente 10 cm y manchas color habano claro, tipo ceniza y manchas de color negro .	M-8	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
9.00	Arcilla amarilla 5YR (6/8) de alta plasticidad y consistencia dura con lentes de arena muy fina, residuos de grava angulosa y vetas de oxidación color naranja oscuro.	M-9	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
10.00	Arcilla amarilla 5YR (6/8) de alta plasticidad y consistencia dura con lentes de arena muy fina, residuos de grava angulosa y vetas de oxidación color naranja oscuro.	M-10	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
11.00	Arcilla color café amarillento 5YR (6/8), de alta plasticidad y consistencia blanda.	M-11	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
12.00	Arcilla color café amarillento 5YR (6/8) con lentes de arena, de alta plasticidad y consistencia dura.		<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
13.00	Arcilla color café amarillento 5YR (6/8) de alta plasticidad y consistencia media.	M-12	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
14.00	Arcilla gris verdeo clara con tonalidades verde violeta, de plasticidad alta y consistencia dura. Se observan granos blancos y negros tamaño arena gruesa y granos de cuarzo.	M-13	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
15.00					

REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P7

COORDENADAS

N:765789

E:1057272

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00	Capa vegetal orgánica, presencia de raíces.	-		HQ	
1.00	Arcilla llimosa color gris 5YR (4/2), de plasticidad media y consistencia media, con presencia de raíces y partículas tamaño arena media. Al final se observan puntos negros (orgánicos) y aumenta la plasticidad).	M-1		HQ	
2.00	Arcilla llimosa color rojizo con tonos amarillentos grisáceos 5YR (5/6), de plasticidad media y consistencia media, alta/oxidada, con algunos puntos negros (orgánicos).	M-2		HQ	
3.00	Arcilla llimosa color rojizo con tonos amarillentos grisáceos 5YR (5/6), de plasticidad media y consistencia media, alta/oxidada, con algunos puntos negros (orgánicos). Al inicio, presencia de arena fina y consistencia dura ($Rpi=2.0$) y al final presencia de arena gruesa y consistencia media.	M-3A		HQ	3.70
4.00		M-3B		HQ	
5.00	Arcilla llimosa color gris claro rojizo 5YR (6/3), de plasticidad alta y consistencia dura, con algo de arenas gruesas y gravas finas y puntos negros (orgánicos). Se observa un cambio al final, partículas tamaño grava gruesa a arena gruesa en matriz arcillosa.	M-4A		HQ	
6.00		M-4B		HQ	
7.00	Arcilla llimosa color gris claro rojizo 5YR (6/3), de plasticidad alta y consistencia dura, con algo de arenas gruesas y gravas finas y puntos negros (orgánicos).	M-5		HQ	
8.00		M-6A		HQ	
9.00	Arcilla llimosa color gris claro rojizo 5YR (6/3), de plasticidad alta, con presencia de arenas medianas a gruesas, alta/oxidada.	M-6B		HQ	
10.00	Arcilla algo llimosa color blanco grisáceo 5YR (8/1), de plasticidad alta y consistencia firme a dura.	M-7A		HQ	
11.00		M-7B		HQ	
12.00	Arcilla algo llimosa color blanco grisáceo 5YR (8/1) con tonos violáceos, de plasticidad alta y consistencia firme a dura. Se observa un cambio al final, arcilla llimosa color café rojizo 7.5YR (6/8), de plasticidad media y consistencia media a blanda, alta/oxidada.	M-7C		HQ	
13.00		M-8A		HQ	
14.00	Arcilla algo arenosa color blanco grisáceo 5YR (8/1) con tonos violáceos, de plasticidad alta y consistencia blanda a muy blanda. Se observa un cambio al final, arcilla llimosa color café rojizo 7.5YR (6/8), de plasticidad media y consistencia media a blanda, alta/oxidada.	M-8B		HQ	
15.00		M-9A		HQ	
16.00	Arcilla llimosa color café rojizo 7.5YR (6/8), con algo de arenas finas a medias, de plasticidad media y consistencia media a firme, alta/oxidada. Se observan evidencias de partículas tamaño gravas finas (meteorizadas) y puntos negros (orgánicos).	M-9B		HQ	
17.00		M-10		HQ	
18.00	Arcilla llimosa color café rojizo 7.5YR (6/8), con algo de arenas finas a medias, de plasticidad media y consistencia media a firme, alta/oxidada. Se observan evidencias de partículas tamaño gravas gruesas (meteorizadas) y puntos negros (orgánicos). Al final el material se encuentra muy fisurado y de consistencia firme.	M-11A		HQ	
19.00		M-11B		HQ	
20.00	Arcilla llimosa color café rojizo 7.5YR (6/8), de plasticidad media y consistencia firme. Se observan planos de debilidad aproximadamente de 60° con respecto a la horizontal.	M-11C		HQ	
21.00	Arcilla llimosa color café rojizo 7.5YR (6/8), de plasticidad media y consistencia firme. Se observan planos de debilidad aproximadamente de 60° con respecto a la horizontal, vetas (relleno de fisuras) y puntos negros.	M-12A		HQ	
		M-12B		HQ	
		M-13A		HQ	
		M-13B		HQ	
		M-13C		HQ	
		M-14		HQ	



REGISTRO DE PERFORACIÓN
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA
EN LA CIUDAD DE POPAYÁN - 025

ID: P8

COORDENADAS

N:761500

E:1048405

Prof. (m)	Descripción	Muestras	Alterada Inalterada	RQD (%)	N.F. (m)
0.00	Capa vegetal orgánica, constituido por arena arcillosa color hábano oscuro, de plasticidad media y consistencia blanda.	M-1	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
1.00	Arcilla color hábano claro 7.5YR (5/4), de plasticidad y consistencia media.		<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
2.00	Suelo residual, mezcla de capa vegetal orgánica con arcilla arenosa de grano fino color hábano medio 10YR (6/8), de plasticidad media y consistencia baja.	M-2	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
3.00	Arcilla arenosa de grano fino color habano medio 10YR (6/8), de plasticidad y consistencia media.	M-3	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	3.80
4.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	▼
5.00	Arcilla arenosa de grano medio, de color habano medio 10YR (6/6), de plasticidad y consistencia media. Presenta fracturas.	M-4	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
6.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
7.00	Arcilla color habano medio 10YR (6/6), de plasticidad y consistencia media. Se observan granos de pomez (puntos blancos) y mica (puntos negros).	M-5	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
8.00	Arcilla color habano medio 10YR (6/6), de plasticidad y consistencia media. Se observan vetas de manganeso y granos de pomez (puntos blancos) y mica (puntos negros), tamaño arena de granos finos a gruesos.	M-6	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
9.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
10.00	Arcilla limosa color habano claro a medio, de plasticidad y consistencia media. Se observan granos de pomez (puntos blancos), mica (puntos negros) y vetas de manganeso (manchas negras), del tamaño de arena de granos finos a gruesos.	M-7	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
11.00		M-8	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
12.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
13.00	Arcilla limosa color habano medio 10YR (6/6), de plasticidad media y consistencia firme. Presenta fracturas. Se observan granos de pomez (puntos blancos), mica (puntos negros), cuarzo y vetas de manganeso (manchas negras), en gran cantidad del tamaño de arena de granos finos a gruesos.	M-9	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
14.00		M-10	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
15.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
16.00	Arcilla limoarenosa color habano medio 10YR (6/6), de plasticidad y consistencia media. Se observan granos de pomez (puntos blancos), mica (puntos negros) y cuarzo y del tamaño de arena de granos medios a gruesos.	M-11	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
17.00	Arcilla limoarenosa color habano medio 10YR (6/6), de plasticidad baja y consistencia media. Se observan fragmentos de roca, granos de pomez (puntos blancos), mica (puntos negros) y cuarzo y del tamaño de arena de granos medios a gruesos.	M-12	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
18.00			<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
19.00	Arcilla limosa color habano medio 10YR (6/6), de plasticidad baja y consistencia media. Se observan fragmentos de roca y granos de arena de tamaño fino a grueso.	M-13	<input checked="" type="checkbox"/>	HQ	
20.00	Arcilla limosa color habano claro 7.5YR (5/4), de alta plasticidad y consistencia blanda. Se observan granos de pomez (puntos blancos), de cuarzo del tamaño de la arena gruesa y vetas de manganeso (manchas negras).				

