

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	2
2.	GEOLOGÍA.....	2
	2.1. GEOLOGÍA DEL AMSS.....	2
	2.2. EL PIRO. SITIO 1. EL TANQUE.....	5
	2.2.1. ESTRATIGRAFÍA .....	5
	2.2.2. ESTRUCTURAS TECTÓNICAS .....	8
	2.2.3. TALUDES .....	8
	2.3. EL PIRO. SITIO 2. LA CUCHILLA.....	8
	2.3.1. ESTRATIGRAFÍA .....	8
	2.3.2. ESTRUCTURAS TECTÓNICAS .....	10
	2.3.3. TALUDES .....	10
3.	GEOTÉCNIA.....	11
	3.1. CAMPAÑA GEOTÉCNICA. CONSIDERACIONES INICIALES.....	11
	3.2. CAMPAÑA GEOTÉCNICA REALIZADA.....	11
	3.3. METODOLOGÍA Y DETALLE DE EQUIPOS .....	16
	3.4. PERFORACIONES ROTATIVAS .....	19
	3.4.1. S1 AGUAS ABAJO .....	19
	3.4.2. S2 AGUAS ARRIBA.....	21
	3.5. POZOS A CIELO ABIERTO.....	23
	3.6. ESTUDIO GEOFÍSICO .....	30
	3.7. ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	40
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
5.	ANEXO 1: COLUMNA OBTENIDA SONDEOS .....	43
6.	ANEXO 2: ESTUDIO GEOFÍSICA.....	45

### CONTROL DE REVISIONES

REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	EMITIDO POR	REVISADO POR
1	27.02.2017	Revisión documento completo	SB, JG	AV

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene los *Estudios Geotécnicos* sobre el sitio de **El Piro**. Para poder redactarlo, se ha realizado un exhaustivo trabajo de campo a nivel social previo y geológico-geotécnico posterior que ha dado como resultado el producto que se entrega. Las tareas de acceso a los sitios han sido muy complicadas. Los trabajos de campo se han realizado con las empresas RODIO y ARRUPE.

El presente anejo recoge los estudios realizados en los sitios denominados El Piro Abajo y El Piro Arriba que se corresponden con las denominaciones de las presas establecidas en el documento Proyecto.

## 2. GEOLOGÍA

---

### 2.1. GEOLOGÍA DEL AMSS

---

El área metropolitana del Gran San Salvador incluye los siguientes 14 municipios, a saber: San Salvador, Soyapango, Mejicanos, Apopa, Santa Tecla, Delgado, Ilopango, Tonacatepeque, San Martín, Cuscatancingo, San Marcos, Ayutuxtepeque, Antiguo Cuscatlán, Nejapa.

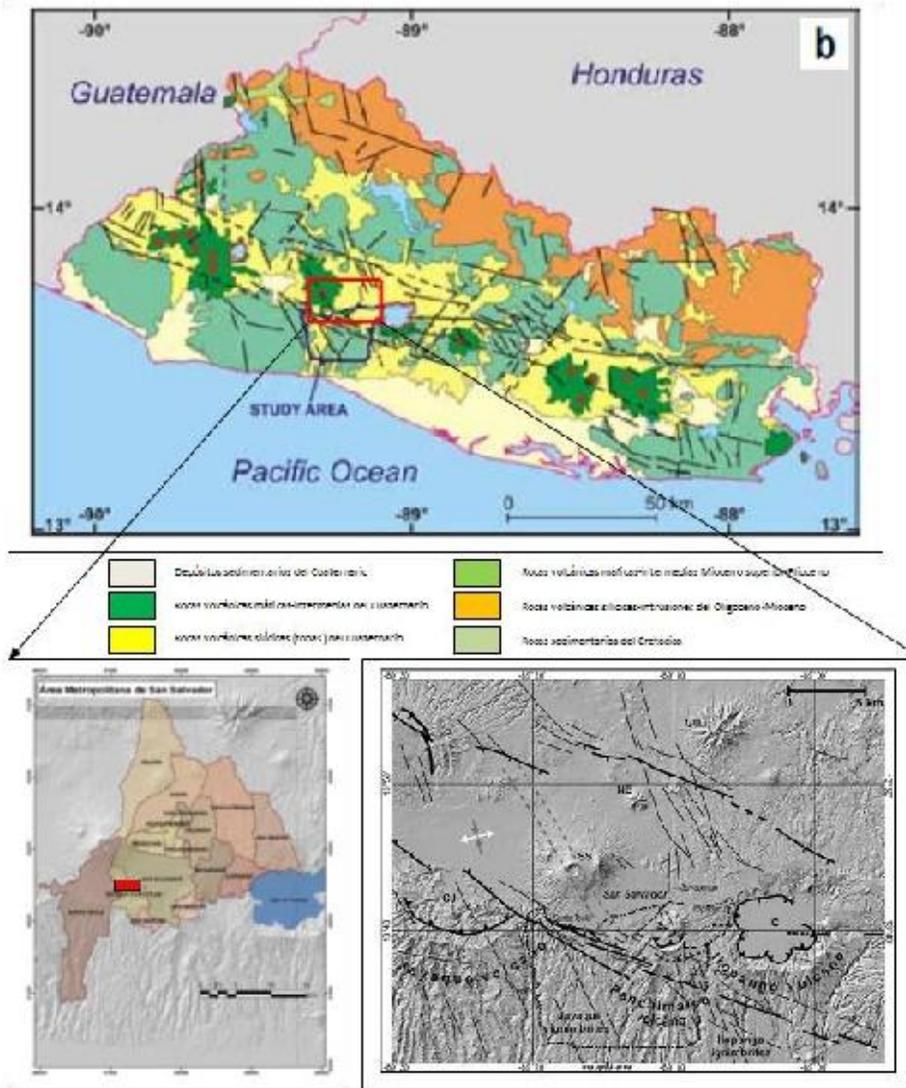


Ilustración 1. Los municipios del Gran San Salvador AMSS, y en recuadro rojo, el sector del proyecto. Arriba Mapa geológico general y a la derecha el mapa de la componente estructural de AMSS (Fuente: Geology and volcanic evolution in the southern part of the San Salvador Metropolitan Area, Jairo y LD Aier et. al, Journal of geosciences, 2011).

Una revista general de la geología del AMSS define a este sector, ubicado en el Arco Volcánico de El Salvador, siendo parte de la Depresión Central; este un rasgo morfo-estructural relevante del país, referida como una larga estructura tectónica, de rumbo E-O, y cuyo límite sur es el escarpe tectónico al sur de la ciudad de Santa Tecla; y en el que además se observan tres direcciones de fallamientos predominantes a lo largo de esa zona volcánica:

- hacia el norte (N10°E-N10°O) de movimiento normal.
- transversales (N30°-40°E) de movimiento lateral izquierdo

- longitudinal (N50°-60°O) de movimiento lateral derecho

De estos, el más relevante es el sector fallado en el lado sur del proyecto, y que divide dos zonas geológicas:

- a) el ya indicado del lado norte, la Depresión Central de El Salvador, que se caracteriza por su morfología suave, centros volcánicos jóvenes a manera de conos o cúpulas, y por su alta sismicidad;
- b) del lado sur, la Sierra del Bálsamo, de morfología irregular, y que desciende gradualmente a la costa salvadoreña. Entre ambos sectores, un escarpe de falla, que, a pesar de estar parcialmente erosionado y cubierto con materiales más jóvenes, se reconoce su cara triangular.

Conforme al rumbo de esta morfología de escarpe, se ha establecido la existencia de fallas rumbo ONO-ESE, siendo el bloque norte (área AMSS) el sector hundido, dominando el movimiento relativo vertical, y una ruptura lateral de tipo dextral menos evidente. Cartografía geológica más reciente por igual destaca las ya reportas fallas, y se asume los movimientos relativos laterales en función de la dirección de los esfuerzos regionales.

El sector por igual se destaca por su alta actividad sísmica de poca profundidad, y se posee un largo registro de eventos destructivos, como el de 1965, 1986, 2001 febrero, los más recientes; de poca profundidad (<10km) pero sin ruptura superficial.

La actividad volcánica es “geológicamente” frecuente, y los centros con eventos históricos descritos en la literatura son:

- El volcán Quezaltepec, un macizo volcánico compuesto de tipo andesítico-basáltico con lavas tipo AA, cuyo último evento fue en 1917, luego de dos potentes sismos; sus materiales se encuentran dispersos en el AMSS como piroclastos y lavas, recientes y antiguas.
- La caldera de Ilopango, una compleja estructura volcano-tectónica, con masivas erupciones plinianas de extensa distribución geológicamente establecidos y formación localizada de extrusiones (domos) rio-dacíticas alrededor y dentro de dicha caldera. El último evento ocurrió en 1880, acompañado por destructivos sismos.

Otros volcancitos monogenéticos han sido identificados, más antiguos, y que están alineados según líneas de esfuerzos entorno al volcán Quezaltepec.

Los materiales geológicos dominantes (ver mapa geológico al inicio) son:

- En la parte superficial, volcánicos (lavas máficas-intermedias y piroclastitas) y localmente epiclastitas jóvenes, inconsolidadas, no meteorizadas ni falladas, y es la formación San Salvador, del Holoceno. Mucho de la columna litológica debe a los eventos del volcán Quezaltepec como de la caldera de Ilopango, aun cuando materiales distales de otros centros aparecen localmente por igual.
- A continuación y debajo de la anterior, en contacto erosional-discordante, una secuencia de rocas félsicas provenientes de la Caldera de Ilopango (sector con recurrentes eventos a lo largo del tiempo dada la reactivación), alrededor del cual se encuentran los mayores espesores, y son compactos, no meteorizados, y fallados, seguidos por rocas intermedias a básicas (lavas y piroclastos), además del volcán Quezaltepec (otro sector con recurrentes eventos a lo largo del tiempo dada la reactivación), alrededor del cual se encuentran los mayores espesores, y de otras estructuras de actividad corta. Esta formación puede estar ausente en el sector sur dada la erosión; y en general, son de edad Plioceno a Pleistoceno.
- Las rocas más antiguas encontradas en el AMSS forman parte, en gran medida, de la secuencia frecuentemente observada en la sierra del Bálsamo, las cuales son volcánicas (flujos de lava y piroclastitas), epiclastitas, ignimbritas, lahares, flujos de lodo; todo litificado, parcialmente meteorizado, tectonizado. Al sur de Santa Tecla existen afloramientos de esta unidad, y solo ventanas aisladas al sur de San Salvador, debido a que hay escalones estructurales expuestos por erosión antigua de las unidades sobreyacentes, y también por la erosión en profundidad reciente en ciertas quebradas (arenal Monserrat), dejando a la vista esta formación. Son de edad Mioceno superior a Plioceno.

---

## 2.2. EL PIRO. SITIO 1. EL TANQUE

---

### 2.2.1. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía local ha sido alterada en su parte más alta dado que el desarrollo urbanístico y de las carreteras ha eliminado la parte inicial de la columna geológica; además, se ha observado que ha habido volcamiento de material, aspecto evidente en las calicatas, perforación y en campo. La siguiente columna es la que puede ser descrita a la luz de las evidencias.

## Formación San Salvador

### Q'f

Es la unidad aflorante más joven de la secuencia de la formación San Salvador, y es constituida por dominantes grandes rodados de rocas volcánicas acumulados en el cauce, además de fracciones más finas de arenas.

Carecen de compactación, y el contraste entre los tamaños sugiere flujos torrenciales de alta velocidad relacionadas a eventos meteorológicos extraordinarios ocasionales.

El espesor es menor a 1m, pero ello es variable en sección y a lo largo del eje del cauce.



Foto 1. Fondo de cauce con abundante material acarreado.



Foto 2. Fondo de cauce con abundante material acarreado. Nótese los grandes rodados en el cauce.

### s2

Es la unidad aflorante más antigua de la formación San Salvador, y definido como una secuencia de rocas volcánicas provenientes de la erupción (magma basáltico a andesita calco-alcalina) del volcán Quezaltepec ó San Salvador (serie inferior) del Pleistoceno.

Es una secuencia de lavas y piroclastitas básicas-intermedias.

El afloramiento principal de esta sección es una colada de lava tipo AA andesítico-basáltica, expuesta en la quebrada El Piro. El espesor de esta unidad supera los 6m (según evidencia de perforación), pero ello puede variar lateralmente.

Las piroclastitas no han sido observadas, y no se descarta que hayan sido eliminadas por terracería dado que están ampliamente distribuidas.

S2 sobreyace a la unidad inferior b3 de la formación Bálsamo, en contacto erosional, y existiendo un hiato formacional (no se observa la formación Cuscatlán).



Foto 3. Lavas del miembro s2. Nótese lo denso y sano de las mismas.



Foto 4. Afloramiento de lavas del miembro s2, subyaciendo al miembro s4 de la formación San Salvador.

## Formación Bálsamo

### b3

La parte superior en contacto discordante con la formación San Salvador, y la roca es fanglomerado denso de matriz fina café con fragmentos gruesos, algunos redondeados, de lavas, ligeramente meteorizados, como esqueleto.



Foto 5. Afloramiento de fanglomerado (flujos de lodo litificados) de la fm. Bálsamo, miembro b3.



Foto 6. Afloramiento de fanglomerado (flujos de lodo litificados) de la fm. Bálsamo, miembro b3.

### 2.2.2. ESTRUCTURAS TECTÓNICAS

Fallamiento no ha sido observado en la formación San Salvador, y las aflorantes lavas carecen de estructuras tectónicas; el fracturamiento observado es por congelamiento.

Únicamente en la formación Bálsamo se han reportado fallas pero en otras localidades; sin embargo, dada la limitada visión de los afloramientos del sector no evidencian fracturas, sean fallas o diaclasas en la formación Bálsamo.

### 2.2.3. TALUDES

Inmediato al sitio de emplazamiento del dique y en la zona de embalse se ha encontrado taludes que tienen material volcado, del lado , en la base de talud, oquedades de gran tamaño ( $\approx 1\text{m}$ ) producto de la erosión fluvial en unidades fragmentarias pobremente consolidadas de la formación San Salvador. Son de poca extensión pero pueden dar lugar al colapso del talud de no introducirse medidas.

Además, se observa abundante basura de origen antropogénico proveniente de las comunidades inmediatas. La basura en sí, no causa afectación directa al talud, pero indirectamente si lo puede causar, como es que termine en el cauce y “tape” las tuberías en el dique.

Pero por otro lado, frecuentemente daña la vegetación baja, y con ello generar erosión superficial. Una vez iniciada, entonces pueden ocurrir daños mayores al talud. Esto último, si bien es parte de impactos ambientales cuyas medidas deben de tener solución ambiental, es oportuno, sin embargo, señalarlo aquí.

---

## 2.3. EL PIRO. SITIO 2. LA CUCHILLA

---

### 2.3.1. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía local ha sido alterada en su parte más alta dado que el desarrollo urbanístico y de las carreteras que han eliminado la parte inicial de la columna geológica; además, se ha observado que ha habido volcamiento de material, aspecto evidente en las calicatas, perforación y en campo. La siguiente columna es la que puede ser descrita a la luz de las evidencias.

Formación San Salvador

Q’f.

Es la unidad más joven de la secuencia de la formación San Salvador, y es constituida por arenas y grandes rodados de rocas volcánicas acumulados en el cauce.

Carecen de compactación, y el contraste entre los tamaños sugiere flujos torrenciales de alta velocidad relacionadas a eventos meteorológicos extraordinarios ocasionales.

El espesor es menor a 1m, pero ello es variable en sección y a lo largo del eje del cauce.



Foto 1. Bloques transportados por el flujo del río y dispuestos en el fondo del cauce.



Foto 2. Cauce con abundante fragmento en un río contaminado por aguas residenciales.

En una calicata (5) se observó un horizonte arenoso de tipo fluvial, lo que indica que parte del terreno ahora urbanizado fue parte del cauce y hubo acumulación fluvial, ahora cubierto.

Miembro s2.

Es la unidad aflorante más antigua de la formación San Salvador, y definido como una secuencia de rocas volcánicas provenientes de la erupción (magma basáltico a andesita calco-alcalina) del volcán Quezaltepec ó San Salvador (serie inferior); esta consiste en lavas y piroclastitas básicas-intermedias, friables, gris, sin cemento y escasa compactación, además sana, o sea, no meteorizada.

El afloramiento principal de esta sección es una colada de lava tipo AA andesítico-basáltica, expuesta en la quebrada El Piro. El espesor de esta unidad supera los 6m (según evidencia en la perforación 2), pero ello puede variar lateralmente.

Los piroclastos afloran en los taludes del cauce, y estos superan los 4m de espesor. El material es friable, o sea, no tiene compactación o cemento; sin embargo, hay horizontes más compactos, probablemente fue depositada caliente.

Sobreyace a la unidad inferior b3 de la formación Bálamo, en contacto erosional, y existiendo un hiato formacional (no existe formación Cuscatlán). No aflora en el sector.

### **2.3.2. ESTRUCTURAS TECTÓNICAS**

Fallamiento ni diaclasamiento ha sido observado en la formación San Salvador.

### **2.3.3. TALUDES**

Próximo al emplazamiento del dique, aguas arriba, los taludes expuestos muestran extendido socavamiento debido a la acción fluvial. Se ha determinado que ello debe a la debilidad textural de los horizontes piroclásticos.

---

### 3. GEOTÉCNIA

---

#### 3.1. CAMPAÑA GEOTÉCNICA. CONSIDERACIONES INICIALES

---

De conformidad a lo establecido en los Términos de Referencia, la síntesis de los estudios a realizar incluye lo siguiente:

1. *Caracterización geotécnica y geofísica de la fundación del cierre de la obra de amortiguación del macro drenaje, sea esta de materiales sueltos o de concreto, incluyendo caracterización del flujo de agua bajo el embalse.*
2. *Caracterización geotécnica del material para el cuerpo de cierre de la obra de amortiguación del macro drenaje.*
3. *Caracterización geotécnica de los sectores destinados a las estructuras de concreto reforzado, (vertederos, disipadores, descargadores de fondo, etc).*
4. *Caracterización geotécnica general de los sectores destinados al vaso de amortiguación del macro drenaje.*

Para cada uno de estos cuatro componentes se deberán realizar ensayos de campo, laboratorio y gabinete.

---

#### 3.2. CAMPAÑA GEOTÉCNICA REALIZADA

---

Tomando en consideración los comentarios de los dos apartados anteriores, la campaña geotécnica realizada en la zona de Colonia Luz ha sido la siguiente:

##### CERRADA EL PIRO AGUAS ABAJO

- Perforación de 19 metros de longitud
- 3 Pozos a cielo abierto
- 4 líneas de Refracción Sísmica

Se adjuntan las coordenadas georeferenciadas de cada uno de los ensayos realizados:

EL PIRO						
SITIO DE PRESA LA CUCHILLA (AGUAS ABAJO)						
<b>SONDEO ROTATIVO (EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS)</b>				<b>COTA RÍO</b>		
<b>ID</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (msnm)</b>	<b>Z (msnm)</b>		
S-1	473299,91	284059,78	822,20	811,56		
<b>POZOS A CIELO ABIERTO (CALICATAS)</b>						
<b>ID</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (msnm)</b>			
PCA 1	473361,04	284116,48	819,56			
PCA 2	473190,05	284000,97	819,45			
PCA 3	473106,02	284040,56	825,47			
<b>LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA</b>						
<b>ID</b>	<b>INICIO</b>			<b>FIN</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (msnm)</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (msnm)</b>
RS-1	473307,41	284101,01	812,98	473371,14	284108,69	811,44
RS-2	473265,64	284046,64	818,55	473299,11	284071,01	820,06
RS-3	473191,94	283997,20	818,98	473236,36	284039,54	820,25
RS-4	473133,86	284041,85	822,01	473168,91	283986,45	820,15

Tabla 1. Coordenadas de los ensayos realizados. El Piro Abajo.

#### CERRADA EL PIRO AGUAS ARRIBA

- Perforación de 25 metros de longitud
- 3 Pozos a cielo abierto
- 4 líneas de Refracción Sísmica

Se adjuntan las coordenadas georeferenciadas de cada uno de los ensayos realizados:

EL PIRO						
SITIO DE PRESA EL TANQUE (AGUAS ARRIBA)						
<b>SONDEO ROTATIVO (EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS)</b>				<b>COTA RÍO</b>		
<b>ID</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (msnm)</b>	<b>Z (msnm)</b>		
S-2	473079,56	283941,57	828,51	814,96		
<b>POZOS A CIELO ABIERTO (CALICATAS)</b>						
<b>ID</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>			
PCA 4	473048,62	283974,46	824,34			
PCA 5	472869,42	283875,79	826,78			
PCA 6	472714,22	283724,02	832,60			
<b>LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA</b>						
<b>ID</b>	<b>INICIO</b>			<b>FIN</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (msnm)</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z (msnm)</b>
RS-5	473045,14	283922,84	829,46	473112,28	283926,95	827,99
RS-6	473028,04	283981,29	824,64	473081,91	283975,12	825,71
RS-7	472891,13	283942,36	831,39	472902,62	283878,37	825,01
RS-8	-	-	-	472774,44	283746,14	828,87

Tabla 2. Coordenadas de los ensayos realizados. El Piro Aguas Arriba.

Se adjunta en la siguiente página una imagen con los puntos de los ensayos realizados sobre plano topográfico.

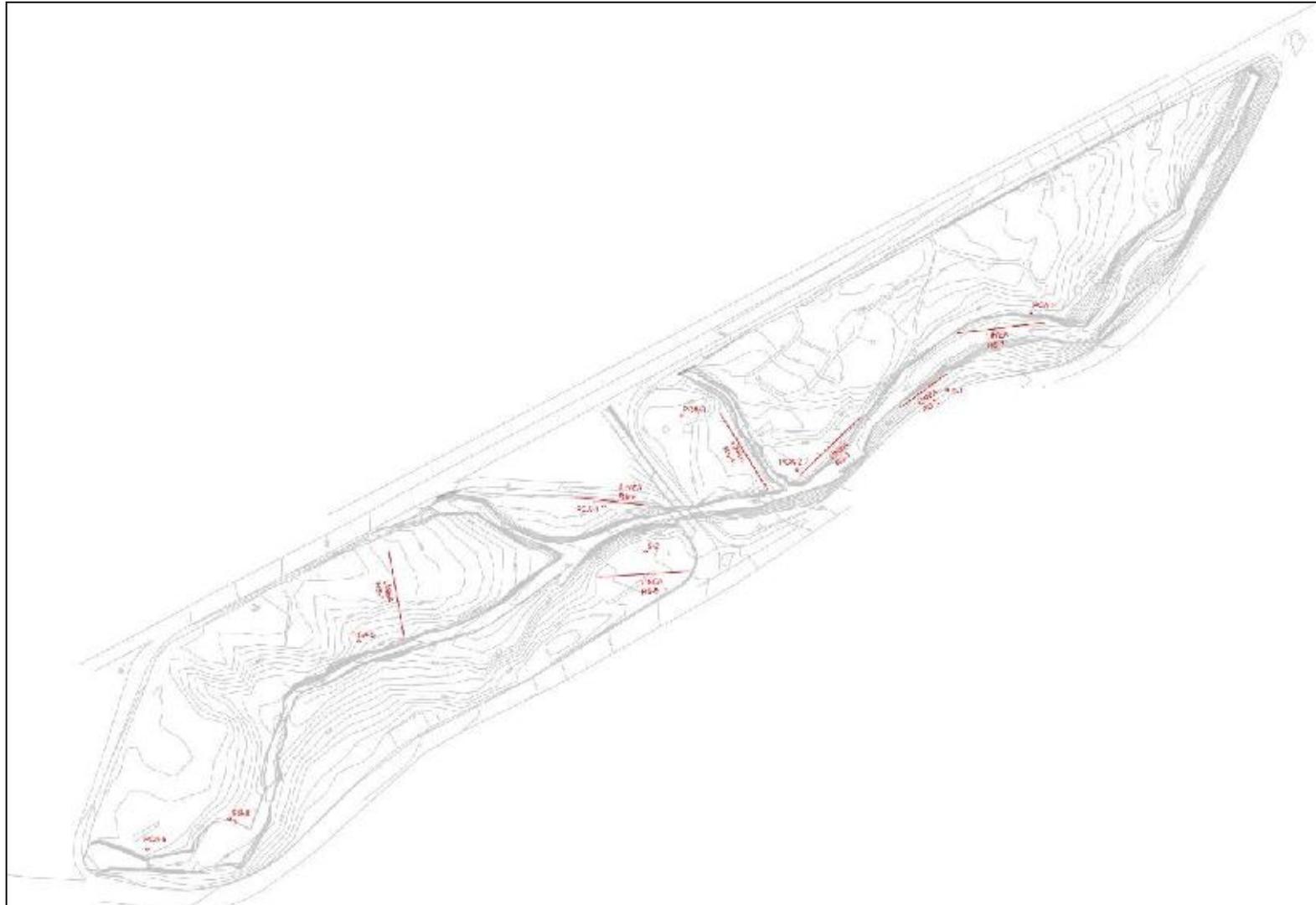


Figura 1. Imagen ubicación ensayos realizados en El Piro

Sobre cada uno de los trabajos de campo relacionados anteriormente se ha realizado los siguientes ensayos de laboratorio:

#### PERFORACIONES

- Contenido natural de Humedad
- Límites de Attemberg (ASTM D 4318)
- Determinación de la fracción menor de 74  $\mu$  (ASTM D 1140)
- Clasificación de los suelos (ASTM D 2487)
- Ensayo de Compresión No Confinada en Rocas (ASTM D 2166)
- Gravedad Específica y Absorción (ASTM C 127)
- Corte Directo (ASTM D 3080)
- Ensayo de Consolidación (ASTM D 2435)
- Ensayo de Colapso (ASTM D 2333)

#### POZOS A CIELO ABIERTO

- Contenido natural de Humedad
- Límites de Attemberg (ASTM D 4318)
- Determinación de la fracción menor de 74  $\mu$  (ASTM D 1140)
- Clasificación de los suelos (ASTM D 2487)
- Proctor Modificado (ASTM D 1557)
- Granulometría por Hidrómetro.

### 3.3. METODOLOGÍA Y DETALLE DE EQUIPOS

Se han realizado perforaciones rotativas con recuperación de núcleos de roca, para lo cual se requiere la utilización de equipo especializado. En este caso particular, el equipo a utilizar consiste en una perforadora Long Year 38 montada sobre patines.

En la siguiente figura se presentan imágenes de la máquina de perforación, cuyas principales características y consideraciones de mantenimiento se presentan a continuación:

<b>ESPECIFICACIONES GENERALES</b>			
Largo de equipo	2.90 m		
Ancho	1.20 m		
Altura máxima con torre levantada	7.20 m		
Altura máxima con torre en descanso (horizontal)	2.35 m		
Separación de perforación de colindancia a centro de perforación	0.60 m		
Profundidad máxima de perforación	100 m		
Diámetro máximo de perforación	5"		
Diámetro menor de perforación	2 7/16"		
<b>MANTENIMIENTOS</b>			
Capacidad de aceite hidráulico	50 litros		
Capacidad de aceite en motor	4 litros		
Combustible para motor de perforadora	DIESEL-GASOLINA	Capacidad	30 litros
Tipo de aceite de transmisión	SAE 140	Capacidad	3 litros
Molcote auxiliar tipo	CABLE DE ACERO BOA 5/8"	Capacidad	0.5 ton



Figura 2. Imágenes de la máquina y la tubería de perforación

Como se mencionó anteriormente, el equipo a utilizar consiste en una perforadora LONGYEAR 38. Para la movilización de este equipo, incluyendo sus correspondientes bombas y tanques de almacenamiento de agua, se ha utilizado un camión grúa con capacidad de carga suficiente y en óptimas condiciones mecánicas,

hidráulicas y eléctricas para evitar inconvenientes durante el traslado. Incluso se ha contado en reserva con la disponibilidad para el uso de grúas de mayor tonelaje a efecto de asegurar el montaje, traslado y desmontaje de los equipos en los diferentes sitios.

La perforadora se encuentra colocada sobre patines, lo cual le permite la capacidad para ser desplazada a cada sondeo desde el lugar de desmontaje (desde donde la deja colocada el camión grúa), no obstante para este auto desplazamiento sobre los patines requiere condiciones mínimas de acceso, las cuales han sido adecuadas previamente para evitar demoras en la ejecución de los trabajos. De manera simultánea se ha trabajado en la generación de la plataforma de nivelación sobre la cual se instalará la máquina perforadora, con la que se garantiza la estabilidad de la misma y además se facilita lograr la verticalidad de la perforación.

Finalmente la máquina fue instalada en el sondeo definido y referenciado topográficamente (para facilitar su localización en planos y el análisis de muestras en profundidad) y luego se procede al armado de la torre de perforación con lo que ya será posible iniciar con las actividades de recuperación de núcleos.

Durante la perforación se deberán extraer las muestras a las diferentes profundidades, a través de las cuales será posible medir la recuperación total así como el valor de Rock Quality Designation (RQD), que viene dado por la sumatoria de las longitudes de todos los segmentos con una longitud mínima de 10 cm dividido por la longitud total de la maniobra de perforación, expresado en porcentaje.

Dichas muestras han sido extraídas y almacenadas en cajas debidamente rotuladas, revisadas por el geólogo, quien en conjunto con el especialista en geotecnia y el laboratorista emitirá las recomendaciones sobre las ubicación, tipo y cantidad de muestras que serán seleccionadas para ser ensayadas en laboratorio.

En este caso particular, las muestras serán enviadas al laboratorio Fundación Padre Arrupe para su debido análisis y recomendación en relación a las condiciones encontradas, tanto en los sitios de los emplazamientos como en las áreas de embalse.

Al final de todo el proceso, los núcleos de perforación extraídos serán entregados directamente al propietario, en este caso el Vice Ministerio de Vivienda, para su almacenamiento definitivo.

De manera complementaria se han realizado pozos a cielo abierto o excavaciones en las márgenes (taludes) del cauce, en las zonas en que ha sido posible por las características litológicas de cada sitio. El proceso de

excavación ha sido manual o mecánica, dependiendo de la accesibilidad de equipos al sitio. Una vez excavados se ha procedido a su revisión geológica para establecer las cantidades y tipos de estratos que pueden ser identificados, y se han extraído muestras para ser analizadas en laboratorio, según lo detallado con anterioridad, con lo cual será posible definir sus características geo mecánicas y sus efectos en los diferentes componentes de las obras a diseñar.

De manera simultánea al proceso de perforación y con el objetivo de obtener adecuadas correlaciones de las condiciones de cimentación, lo cual es fundamental en el proceso de diseño de este tipo de obras, se ha previsto llevado a cabo un estudio geofísico mediante resistividad, que se ha complementado con el levantamiento y mapeo geológico a escala adecuada, de forma que la investigación del sitio de emplazamiento sea tan amplia y detallada que permita el adecuado diseño.

En cumplimiento a los TDR también se ha establecido la necesidad de realizar una investigación geológica en el área de cada uno de los embalses, de forma que sea posible caracterizarle geológicamente a efecto de tener una idea general sobre posibles fallas o sitios de inestabilidad, o incluso para estimar cómo podría comportarse ante la carga y descarga generadas por los procesos de llenado y vaciado en tiempos relativamente cortos, es decir la posibilidad de micro sismicidad asociada, para lo cual también se tiene considerado realizar perfiles geofísicos adicionales a los que se han de realizar en los sitios de presa.

### 3.4. PERFORACIONES ROTATIVAS

#### 3.4.1. S1 AGUAS ABAJO

Los trabajos para la realización del S1 AGUAS ABAJO comenzaron el 31/10/2016 y finalizaron el día 03/11/2016 cuando se alcanzaron los 19 m de perforación.

Se adjuntan las coordenadas.

SONDEO ROTATIVO (EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS)			
ID	X	Y	Z (msnm)
S-1	473299,91	284059,78	822,20

Se adjunta una sección transversal del cauce en la zona de la perforación:

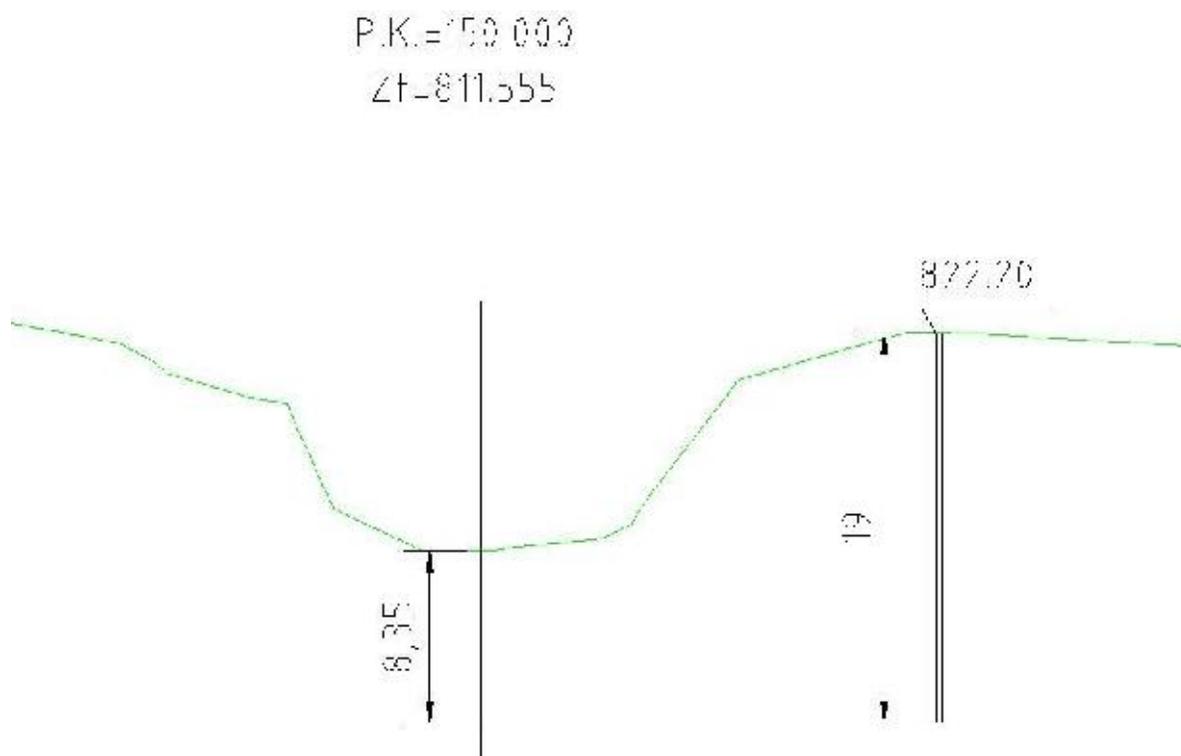


Figura 3. Sección tipo de la quebrada en la zona de la perforación

Se adjunta la secuencia de materiales comentada por el Especialista en Geología del equipo. Esta descripción complementa la establecida por el laboratorio de geotecnia y que se adjunta en los anejos del presente informe.

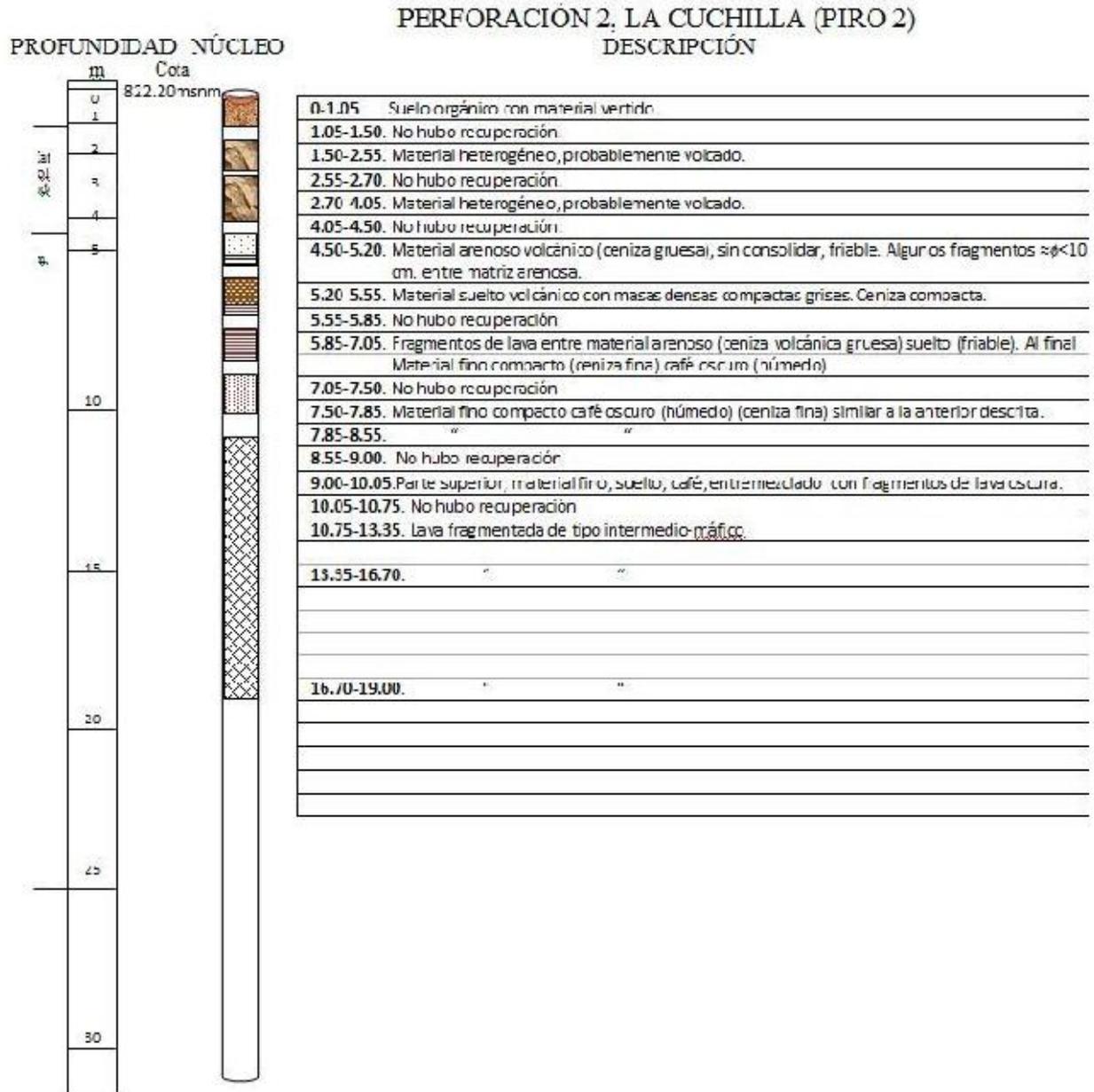


Figura 4. Secuencia de materiales sondeo S1 aguas abajo

Posteriormente, al finalizar cada una de las perforaciones se ha realizado la medición de nivel freático, destacándose que en ninguno de los casos ha sido posible identificarlo.

### 3.4.2. S2 AGUAS ARRIBA

Los trabajos para la realización del S2 AGUAS ARRIBA comenzaron el 27/10/2016 y finalizaron el día 30/10/2016 cuando se alcanzaron los 25 m de perforación.

Las coordenadas del punto son las siguientes:

SONDEO ROTATIVO (EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS)			
ID	X	Y	Z (msnm)
S-2	473079,56	283941,57	828,51

Se adjunta una sección transversal del cauce en la zona de la perforación:

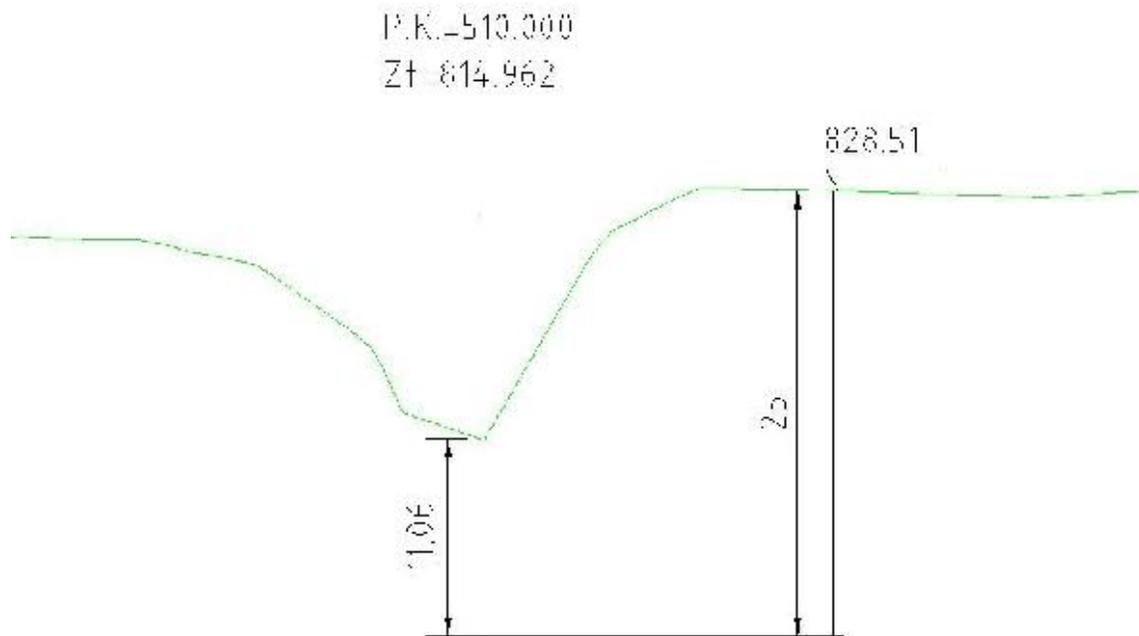


Figura 5. Sección tipo de la quebrada en la zona de la perforación

Se adjunta la secuencia de materiales comentada por el Especialista en Geología del equipo. Esta descripción complementa la establecida por el laboratorio de geotecnia y que se adjunta en los anejos del presente informe.

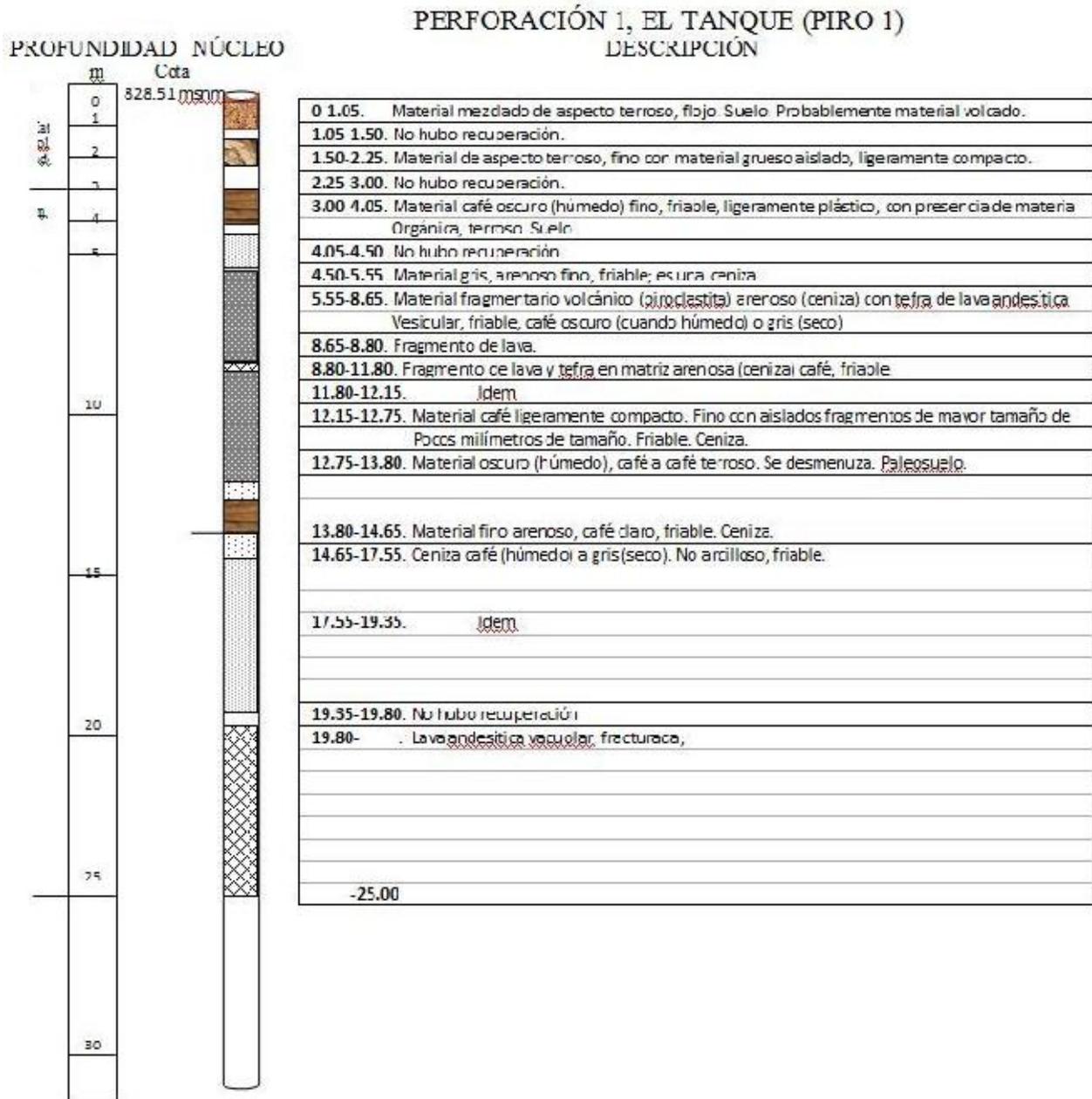


Figura 6. Secuencia de materiales sondeo S2 aguas arriba

Posteriormente, al finalizar cada una de las perforaciones se ha realizado la medición de nivel freático, destacándose que en ninguno de los casos ha sido posible identificarlo.

### 3.5. POZOS A CIELO ABIERTO

En cuanto a los pozos a cielo abierto se ha realizado en El Piro un total de 6, ubicados estratégicamente para facilitar el conocimiento de los materiales que se encuentran en la zona de los ejes de presa y otras distribuidas en la zona del vaso del embalse que permitirán facilitar la interpretación de los perfiles de refracción sísmica y que a la vez darán información del tipo de material que requerirá ser excavado, en caso que esta opción sea considerada como alternativa final del proyecto.

De todos estos pozos a cielo abierto, se ha realizado la extracción de muestras que ya han sido enviadas al laboratorio para el análisis correspondiente, incluyendo las extracciones de muestras inalteradas en las calicatas localizadas en las cercanías de los ejes de presa. En las siguientes imágenes se presentan las calicatas excavadas, detallando el proceso de revisión geológica correspondiente, con el cual se ha podido corroborar la continuidad de los lito tipos, y también se puede verificar el proceso de obtención de muestras inalteradas.

#### COLONIA LUZ AGUAS ABAJO

POZOS A CIELO ABIERTO (CALICATAS)			
ID	X	Y	Z (msnm)
PCA 1	473361,04	284116,48	819,56
PCA 2	473190,05	284000,97	819,45
PCA 3	473106,02	284040,56	825,47

#### COLONIA LUZ AGUAS ARRIBA

POZOS A CIELO ABIERTO (CALICATAS)			
ID	X	Y	Z
PCA 4	473048,62	283974,46	824,34
PCA 5	472869,42	283875,79	826,78
PCA 6	472714,22	283724,02	832,60

Se adjunta la descripción de los materiales encontrados y fotografía de las calicatas realizadas:

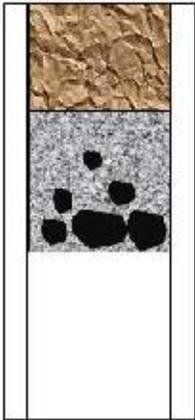
CALICATAS 1, El Piro		
PROFUNDIDAD	CALICATA	DESCRIPCIÓN
m		0-0.76. Material volcado entremezclado con suelo
0		0.81-1.85. Material fragmentario volcánico hasta de 0.50cm. de Diámetro. Todo está suelto, friable.
1		No se pudo continuar.
2		
3		
4		
5		



Figura 7. Pozo a Cielo Abierto nº 1



Figura 8. Pozo a Cielo Abierto nº 2

3. El Piro

PROFUNDIDAD	CALICATA	DESCRIPCIÓN
0		0 - 0.76. Material volcado entremezclado con suelo
1		0.76 - 0.89. Material arenoso gris suelto y fragmentos varios de Diámetro $\phi < 2\text{cm}$ .
2		0.89 - 3.00. Material volcado. Hay plásticos en el sitio. Todo este material se desmenuza con facilidad
3		



Figura 9. Pozo a Cielo Abierto nº 3

PROFUNDIDAD m	CALICATA	DESCRIPCIÓN
0		0 – 1.1. Suelo orgánico.
1		1.1 2.79. Tefra friable gris, que tiende a ser más limo en la parte Superior (ceniza gruesa),
2		Fragmentos de lava intermedia entre material más fino
		Se observan fragmentos de lava hasta de 25 cm.
		Una capa (friable) casi negro la parte inferior (ceniza ó limo)
3		



Figura 10. Pozo a Cielo Abierto n° 4

5, El Piro

PROFUNDIDAD	CALICATA	DESCRIPCIÓN
		<p>0-1.17. Suelo oscuro. Se desmenuza.</p> <p>1.17- 1.93. Capa calé fino, friable, con algunas raíces. Ceniza, Friable</p> <p>1.93.-2.32. Ceniza gruesa hasta tefra, con fragmentos de 1cm.</p> <p>2.32- 3.00. Matriz arenosa (lluvial) entremezclado con fragmentos Gruesos (rodados). Relacionado a la quebrada inmediata Friable</p>



Figura 11. Pozo a Cielo Abierto nº 5



---

### 3.6. ESTUDIO GEOFÍSICO

---

El principal objetivo del estudio es definir las características sísmicas y la reconstrucción geofísica del subsuelo para el desarrollo del proyecto lagunas de retención, constituido por un eje de represamiento y una laguna para el llenado de la misma.

En particular, el principal enfoque del estudio es lo de reconstruir la estructura del subsuelo por medio del parámetro físico de la velocidad sísmica de las ondas P para detectar la presencia de posibles fallas y/o el espesor de suelo blando superficial y/o la profundidad del substrato rocoso y establecer el perfil de suelo en el área en estudio, proporcionando así informaciones necesarias al diseñador para poder realizar los diseños de las cimentaciones de las estructuras.

Los principales objetivos de la investigación pueden así ser resumidos:

- Reconstruir las variaciones del campo de velocidad de las ondas P.
- Reconstruir la conformación geológica – estratigráfica - estructural del subsuelo.
- Identificación de estructuras geológicas - geofísicas que puedan representar riesgos geológicos en las obras.

El levantamiento de campo de los datos experimentales ha sido realizado los días 1-8 de noviembre del 2016.

Para llevar a cabo los objetivos indicados precedentemente han sido realizados 8 perfiles sísmicos de refracción para determinar el modelo geofísico del subsuelo y las variaciones de las velocidades de la onda de compresión (onda P).

Tales coordenadas han sido definidas para establecer los factores geométricos exactos de los perfiles y así aportar la corrección topográfica de los datos experimentales necesarios para la fase de interpretación.

Como se ha comentado, el levantamiento sísmico consistió en la realización de 8 líneas de sísmica de refracción con una interdistancia geofónica de 2.5 metros para las líneas sísmicas, datos adquiridos mediante un sismógrafo Geometrics y 24 geófonos verticales de 14 Hz de frecuencia que permitieron la determinación de la distribución en 2D de la velocidad sísmica de la onda P en el terreno a lo largo de los tramos definidos por el cliente según sigue:

ZONA EL PIRO AGUAS ARRIBA

LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA						
ID	INICIO			FIN		
	X	Y	Z (msnm)	X	Y	Z (msnm)
RS-1	473307,41	284101,01	812,98	473371,14	284108,69	811,44
RS-2	473265,64	284046,64	818,55	473299,11	284071,01	820,06
RS-3	473191,94	283997,20	818,98	473236,36	284039,54	820,25
RS-4	473133,86	284041,85	822,01	473168,91	283986,45	820,15

ZONA EL PIRO AGUAS ABAJO

LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA						
ID	INICIO			FIN		
	X	Y	Z (msnm)	X	Y	Z (msnm)
RS-5	473045,14	283922,84	829,46	473112,28	283926,95	827,99
RS-6	473028,04	283981,29	824,64	473081,91	283975,12	825,71
RS-7	472891,13	283942,36	831,39	472902,62	283878,37	825,01
RS-8	-	-	-	472774,44	283746,14	828,87

Se adjuntan fotografías representativas del trabajo de campo realizado:

EL PIRO AGUAS ABAJO (LA CUCHILLA)



*Figura 13. Perfil Refracción Sísmica 1*



Figura 14. Perfil Refracción Sísmica 2



Figura 15. Perfil Refracción Sísmica 3



Figura 16. Perfil Refracción Sísmica 4



Figura 17. Perfil Refracción Sísmica 5



Figura 18. Perfil Refracción Sísmica 6



*Figura 19. Perfil Refracción Sísmica 7*



*Figura 20. Perfil Refracción Sísmica 8*

---

### 3.7. ANÁLISIS DE LABORATORIO

---

Para completar la investigación geotécnica y obtener las características geo mecánicas de los sitios de presa y sus embalses, que se traducen en los insumos para una adecuada etapa de diseño, es necesario llevar a cabo el análisis de laboratorio de las diferentes muestras obtenidas tanto de las perforaciones rotativas con extracción de núcleo como de los pozos a cielo abierto. Se remite a los Estudios Básicos para la revisión de estos resultados.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones geotécnicas

- En los dos sitios la opción de cimentar superficialmente con zapatas se considera factible económicamente ya que no requiere restitución para alcanzar una capacidad de carga suficiente para el tipo de estructura proyectada, debido a que por el corte que requiere la construcción se cimenta sobre suelo de buena compacidad (con rechazo), en grava o roca. Además la cimentación superficial es más indicada para zonas de difícil acceso, como es el caso de los tres sitios ya que su construcción es más rápida.
- La opción de cimentar con pilotes no se considera factible, porque además que resulta onerosa ya que requiere perforación en grava y roca. solamente en los sitios El Tanque y La Cuchilla se encontró un estrato de roca sana continua en el que se pueda cimentar los pilotes y garantizar la capacidad por punta. En pilotes en roca se recomienda despreciar conservadoramente la capacidad por fricción porque para que esta se produzca se debe garantizar que los desplazamientos no superen los 10mm (asegurando un contacto rugoso suelo pilote), arriba de esto, de acuerdo a las teorías para capacidades de carga de pilotes, se puede producir un resbalamiento entre el concreto y el material de apoyo, como consecuencia de este resbalamiento cualquier carga adicional es transferida a la punta y la resistencia lateral se asume que se reduce a cero (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATION 2004) .

### Recomendaciones geotécnicas:

- Debido a que los materiales encontrados son susceptibles a la erosión y socavación, y observándose el efecto reductor en las capacidades de carga por el efecto de la socavación, se recomienda que para

proteger las cimentaciones de los estribos se coloque un emplantillado de concreto, de piedra con mortero ó un colchón reno (lo que resulte más económico) sobre el lecho del río en todo el ancho del cauce y en toda la longitud de los muros, para evitar que el agua superficial socave las cimentaciones, el espesor del emplantillado deberá ser definido por el diseñador estructural.

- Además del emplantillado sería conveniente construir obras disipadoras de energía aguas arriba para reducir la velocidad del agua y reducir así la socavación y la erosión, estas obras disipadoras pueden ser una serie de muros ya sea de tipo gavión, de bloque o de concreto, sin embargo la necesidad de estas obras disipadoras solamente las puede avalar el diseñador hidráulico.



## **5. ANEXO 1: COLUMNA OBTENIDA SONDEOS**





Project: VIELCA, CAMPANA GEOTECNICA  
PRELIMINAR MACRODRENAJES

Project Location: LA CUCHILLA

Project Number:



Centro de Tecnología Aplicada  
Teléfono y Fax: (503)2516-6800/01

# Log of Boring S-1

Sheet 2 of 2

Elevación (metros)	Profundidad (metros)	Tipo de muestra	Número de muestra	Resistencia de muestreo, Golpes/0.3 m	Símbolo USCS	Esquema gráfico	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Carrera (cm)	RQD (%)	Porcentaje de finos	Contenido de Agua, %	LL, %	PI, %	UC, kg/cm2
10.08			M9		SM Roca		Arena limosa con grava de color café amarilloso ROCA	150	22		13.9	NV	NP	
	11								19					
	12								27					
	13								19					
	14								25					
	15								41					
	16								14					
	17								45					564.2
	18								54					
	19								97					
									100					1275.1
							Bottom of Boring							

Project: **VIELCA, CAMPANA GEOTECNICA  
PRELIMINAR MACRODRENAJES**

Project Location: **LA CUCHILLA**

Project Number:



Centro de Tecnología Aplicada  
Teléfono y Fax: (503)2516-6800/01

# Key to Log of Boring

Sheet 1 of 1

Elevación (metros)	Profundidad (metros)	Tipo de muestra	Número de muestra	Resistencia de muestreo, Golpes/0.3 m	Símbolo USCS	Esquema gráfico	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Carrera (cm)	RQD (%)	Porcentaje de finos	Contenido de Agua, %	LL, %	PI, %	UC, kg/cm2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

## COLUMN DESCRIPTIONS

- 1** Elevación (metros): Elevación (metros).
- 2** Profundidad (metros): Profundidad en metros debajo del nivel del terreno.
- 3** Tipo de muestra: Tipo de muestra de suelo recolectada en el intervalo de profundidad mostrada.
- 4** Número de muestra: Número de identificación de la muestra.
- 5** Resistencia de muestreo, Golpes/0.3 m: Número de golpes para que el muestreador avance 0.3m más allá del intervalo de asentamiento usando el martillo identificado en la hoja de perforación
- 6** Símbolo USCS: Símbolo USCS del material subsuperficial
- 7** Esquema gráfico: Esquema del material subsuperficial encontrado
- 8** DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Descripción del material encontrado, puede incluir consistencia, color y otros elementos que describan el material.
- 9** Carrera (cm): Longitud de carrera en metros
- 10** RQD (%): Designación de la calidad de la roca expresado como un porcentaje
- 11** Porcentaje de finos: El porcentaje de finos (suelo que pasa la malla No.200)
- 12** Contenido de Agua, %: Contenido de agua de la muestra de suelo, expresada como un porcentaje del peso suelo seco de la muestra.
- 13** LL, %: Límite líquido expresado como un contenido de agua
- 14** PI, %: Índice de plasticidad expresado como un contenido de agua
- 15** UC, kg/cm2: Compresión no confinada en kilogramos por centímetros cuadrados.

## FIELD AND LABORATORY TEST ABBREVIATIONS

CHEM: Chemical tests to assess corrosivity  
 COMP: Compaction test  
 CONS: One-dimensional consolidation test  
 LL: Liquid Limit, percent

PI: Plasticity Index, percent  
 SA: Sieve analysis (percent passing No. 200 Sieve)  
 UC: Unconfined compressive strength test, Qu, in ksf  
 WA: Wash sieve (percent passing No. 200 Sieve)

## MATERIAL GRAPHIC SYMBOLS

- Poorly graded GRAVEL (GP)
- Well graded GRAVEL (GW)
- Limo arenoso (ML)

- Roca
- Arena Limosa (SM)
- Well graded SAND with Silt (SW-SM)

## TYPICAL SAMPLER GRAPHIC SYMBOLS

- 2-inch-OD unlined split spoon (SPT)
- Shelby Tube (Thin-walled, fixed head)

## OTHER GRAPHIC SYMBOLS

- Water level (at time of drilling, ATD)
- Water level (after waiting)
- Minor change in material properties within a stratum
- Inferred/gradational contact between strata
- Queried contact between strata

## GENERAL NOTES

- 1: Soil classifications are based on the Unified Soil Classification System. Descriptions and stratum lines are interpretive, and actual lithologic changes may be gradual. Field descriptions may have been modified to reflect results of lab tests.
- 2: Descriptions on these logs apply only at the specific boring locations and at the time the borings were advanced. They are not warranted to be representative of subsurface conditions at other locations or times.



Project: VIELCA, CAMPANA GEOTECNICA  
PRELIMINAR MACRODRENAJES

Project Location: EL TANQUE

Project Number:



Centro de Tecnología Aplicada  
Teléfono y Fax: (503)2516-6800/01

# Log of Boring S-1

Sheet 2 of 2

Elevación (metros)	Profundidad (metros)	Tipo de muestra	Número de muestra	Resistencia de muestreo, Golpes/0.3 m	Símbolo USCS	Esquema gráfico	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Carrera (cm)	RQD (%)	Porcentaje de finos	Contenido de Agua, %	LL, %	PI, %	UC, kg/cm2
12			M11		SM		Arena limosa con grava de color café grisáceo claro	150				NV	NP	
12.45					SM		Arena limosa de color café grisáceo oscuro							
13			M12					180	53		32.2	NV	NP	
14														
14.25			M13		ML		Limo arenoso de color café amarillado claro	40				26	NP	
14.65					SM		Arena limosa con grava de color café grisáceo							
15			M14					110			56.3	NV	NP	
15.75					GM		Grava limosa con arena de color café grisáceo							
16			M15					150	18		26.7	NV	NP	
17					SM		Arena limosa de color café grisáceo	30				NV	NP	
17.25			M16		ML		Limo con arena de color café							
17.55					SM		Arena limosa color café	75	16			35	NP	
18			M17											
18.3					SM		Arena limosa color café							
19			M18					150	22			NV	NP	
19.8							ROCA							
20														
21									83					
22									92					
23									78					
24									100					183.6
25							Bottom of Boring							

Project: **VIELCA, CAMPAÑA GEOTECNICA  
PRELIMINAR MACRODRENAJES**

Project Location: **EL TANQUE**

Project Number:



Centro de Tecnología Aplicada  
Teléfono y Fax: (503)2516-6800/01

# Key to Log of Boring

Sheet 1 of 1

Elevación (metros)	Profundidad (metros)	Tipo de muestra	Número de muestra	Resistencia de muestreo, Golpes/0.3 m	Símbolo USCS	Esquema gráfico	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Carrera (cm)	RQD (%)	Porcentaje de finos	Contenido de Agua, %	LL, %	PI, %	UC, kg/cm2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

## COLUMN DESCRIPTIONS

- 1** Elevación (metros): Elevación (metros).
- 2** Profundidad (metros): Profundidad en metros debajo del nivel del terreno.
- 3** Tipo de muestra: Tipo de muestra de suelo recolectada en el intervalo de profundidad mostrada.
- 4** Número de muestra: Número de identificación de la muestra.
- 5** Resistencia de muestreo, Golpes/0.3 m: Número de golpes para que el muestreador avance 0.3m más allá del intervalo de asentamiento usando el martillo identificado en la hoja de perforación
- 6** Símbolo USCS: Símbolo USCS del material subsuperficial
- 7** Esquema gráfico: Esquema del material subsuperficial encontrado
- 8** DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: Descripción del material encontrado, puede incluir consistencia, color y otros elementos que describan el material.
- 9** Carrera (cm): Longitud de carrera en metros
- 10** RQD (%): Designación de la calidad de la roca expresado como un porcentaje
- 11** Porcentaje de finos: El porcentaje de finos (suelo que pasa la malla No.200)
- 12** Contenido de Agua, %: Contenido de agua de la muestra de suelo, expresada como un porcentaje del peso suelo seco de la muestra.
- 13** LL, %: Límite líquido expresado como un contenido de agua
- 14** PI, %: Índice de plasticidad expresado como un contenido de agua
- 15** UC, kg/cm2: Compresión no confinada en kilogramos por centímetros cuadrados.

## FIELD AND LABORATORY TEST ABBREVIATIONS

CHEM: Chemical tests to assess corrosivity  
 COMP: Compaction test  
 CONS: One-dimensional consolidation test  
 LL: Liquid Limit, percent

PI: Plasticity Index, percent  
 SA: Sieve analysis (percent passing No. 200 Sieve)  
 UC: Unconfined compressive strength test, Qu, in ksf  
 WA: Wash sieve (percent passing No. 200 Sieve)

## MATERIAL GRAPHIC SYMBOLS

- GRAVA LIMOSA CON ARENA (GM)
- Poorly graded GRAVEL (GP)
- Well graded GRAVEL (GW)

- Well graded GRAVEL with Silt (GW-GM)
- Limo arenoso (ML)
- Roca
- Arena Limosa (SM)

## TYPICAL SAMPLER GRAPHIC SYMBOLS

- 2-inch-OD unlined split spoon (SPT)
- Shelby Tube (Thin-walled, fixed head)

## OTHER GRAPHIC SYMBOLS

- Water level (at time of drilling, ATD)
- Water level (after waiting)
- Minor change in material properties within a stratum
- Inferred/gradational contact between strata
- Queried contact between strata

## GENERAL NOTES

- 1: Soil classifications are based on the Unified Soil Classification System. Descriptions and stratum lines are interpretive, and actual lithologic changes may be gradual. Field descriptions may have been modified to reflect results of lab tests.
- 2: Descriptions on these logs apply only at the specific boring locations and at the time the borings were advanced. They are not warranted to be representative of subsurface conditions at other locations or times.

## 6. ANEXO 2: ESTUDIO GEOFÍSICA



# INFORME FINAL

## PROYECTO:

***“ESTUDIO DE REFRACCIÓN SÍSMICA  
QUEBRADA EL PIRO” COMUNIDADES  
EL TANQUE Y LA CUCHILLA***

**MUNICIPIO DE ANTIGUO CUSCATLÁN - LA LIBERTAD  
REPÚBLICA DE EL SALVADOR**

**PROPIETARIO: VIELCA INGENIEROS, S.A.**

PRESENTA:   
**V&V INGENIEROS,  
S.A. DE C.V.**

5 de Diciembre de 2016

## ÍNDICE

<b>1. Premisa.....</b>	<b>1-1</b>
1.1 Ubicación y objetivo del estudio.....	1-1
1.2 Metodología de investigación.....	1-2
<b>2. Investigaciones realizadas.....</b>	<b>1-3</b>
2.1 Características del levantamiento sísmico.....	1-3
2.2 Adquisición de los datos experimentales.....	1-5
<b>3. Equipos empleados y personal técnico.....</b>	<b>3-1</b>
<b>4. Enfoque técnico y metodología.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 Metodología de adquisición.....	4-1
4.2 Metodología interpretativa.....	4-1
<b>5. Análisis de los resultados.....</b>	<b>5-3</b>
5.1 Introducción.....	5-3
5.2 Interpretación de los modelos de velocidad.....	5-4
5.2.1 ZONA DE LA COMUNIDAD LA CUCHILLA.....	5-4
5.2.1 ZONA DE LA COMUNIDAD EL TANQUE.....	5-1

### Índice de Figuras:

Figura 1 –Ubicación área en estudio (círculos negros). .....	1-1
Figura 2 – Levantamiento de sísmica de refracción. ....	1-5
Figura 3 – Fases de adquisición. ....	1-6
Figura 4 – Equipos empleados durante la fase de adquisición (Sismógrafo Geometrics 24 canales y geófono vertical). ....	3-1
Figura 5 – Ejemplo de picking de un sismograma. ....	4-2
Figura 6 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-1 y perfil estratigráfico.....	5-4
Figura 7 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-2 y perfil estratigráfico.....	5-6
Figura 8 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-3 y perfil estratigráfico.....	5-7
Figura 9 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-4 y perfil estratigráfico.....	5-8
Figura 10 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-5 y perfil estratigráfico. ....	5-1
Figura 11 – Modelo de velocidad refracción sísmica LS-6 y perfil estratigráfico. ....	5-2
Figura 12 – Modelo de velocidad Refracción sísmica RS-7 y perfil estratigráfico. ....	5-4
Figura 13 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-8 y perfil estratigráfico. ....	5-5

### ÍNDICE HOJAS:

HOJA	CONTENIDO	ESCALA
RS-01	Refracción Sísmicas 1-2-3-4 Comunidad la Cuchilla	1:500/1:1,000
RS-02	Refracción Sísmicas 5-6-7-8 Comunidad El Tanque	1:500/1:1,000

## 1. PREMISA

### 1.1 Ubicación y objetivo del estudio

Este informe se refiere a la exploración geofísica realizada para el diseño del proyecto denominado “Estudio Geofísico para las lagunas de retención en quebrada El Piro”, proyecto de gran relevancia para las comunidades de la zona baja de San Salvador.

El proyecto se localiza en las comunidades El Tanque y la Cuchilla, ubicado en la zona alta de la quebrada El Piro en el municipio de Antigua Cuscatlán, Departamento de La Libertad, República de El Salvador.



Figura 1 –Ubicación área en estudio (círculos negros)

El estudio realizado ha sido planeado y enfocado, como se puede ver en las hojas anexas (RS-01/02), a la caracterización de los suelos y rocas y sobre todo en el área de donde se construirán las obras en la zona baja de la quebrada El Piro.

El principal objetivo del estudio es definir las características sísmicas y la reconstrucción geofísica del subsuelo para el desarrollo del proyecto lagunas de retención, constituido por un eje de represamiento, y una laguna para el llenado de la misma.

En particular, el principal enfoque del estudio es la de reconstruir la estructura del subsuelo por medio del parámetro físico de la velocidad sísmica de las ondas P para detectar la presencia de posibles fallas y/o el espesor de suelo blando superficial y/o la profundidad del substrato rocoso y establecer el perfil de suelo en el área en estudio, proporcionando así la información necesaria al diseñador para poder realizar los diseños de las cimentaciones de las posibles estructuras.



# V&V INGENIEROS, S.A. DE C.V.

Residencial América, calle Cristóbal Colón #3, San Salvador

Tel. 2280-2168, Cel. 7575-1210

E-mail: vyvingenieros@gmail.com



Los principales objetivos de la investigación pueden ser resumidos así:

- Reconstruir las variaciones del campo de velocidad de las ondas P.
- Reconstruir la conformación Geológica – Estratigráfica - Estructural del subsuelo.
- Identificación de estructuras Geológicas - Geofísicas que puedan representar riesgos geológicos en la construcción del eje de represas o la excavación de los sub estratos.

El presente informe técnico describe las actividades realizadas y los resultados alcanzados con la prospección sísmica según un criterio geofísico y según las informaciones de estudio geotécnico previo.

## 1.2 Metodología de investigación

El levantamiento de campo de los datos experimentales ha sido realizado en los días 1 al 8 de noviembre del 2016.

Para llevar a cabo los objetivos indicados precedentemente han sido realizados 8 perfiles sísmicos de refracción para determinar el modelo geofísico del subsuelo y las variaciones de las velocidades de la onda de compresión (onda P).

Más en detalle, se realizaron 4 líneas geofísicas (RS 1-2-3- 4) en una zona conocida como comunidad La Cuchilla donde se ha proyectado un dique ubicado frente a centro comercial Multiplaza y carretera panamericana con dirección hacia San Salvador y 4 líneas geofísicas más (RS -5-6-7-8) se realizaron en otro sitio proyectado como zona de dique en la comunidad El Tanque ubicado frente a centro comercial Las Cascadas y carretera panamericana con dirección hacia San Salvador.

Todas estas líneas sísmicas, fueron establecidas en campo por el encargado de la supervisión.

Las coordenadas han sido definidas de acuerdo a la topografía proporcionada por el propietario para establecer los factores geométricos exactos de los perfiles y así aportar la corrección topográfica de los datos experimentales necesarios para la fase de interpretación.

Las ubicaciones de los tendidos sísmicos son evidenciadas en las hojas anexas al informe (hoja RS-01-02) conjuntamente a los modelos de velocidad resultado de la inversión de los datos sísmicos.

El enfoque técnico adoptado ha permitido una caracterización adecuada del subsuelo del área en estudio, logrando los objetivos prefijados en fase de planeamiento de las investigaciones.

## 2. INVESTIGACIONES REALIZADAS

### 2.1 Características del levantamiento sísmico

El levantamiento sísmico consistió en la realización de 8 líneas de sísmica de refracción con una interdistancia geofónica de 2.5 metros para las líneas sísmicas, datos adquiridos mediante un sismógrafo Geometrics y 24 geófonos verticales de 14 Hz de frecuencia que permitieron la determinación de la distribución en 2D de la velocidad sísmica de la onda P en el terreno a lo largo de los tramos definidos por el cliente según sigue:

### Zona La Cuchilla:

- Refracción sísmica 1: ejecutada en la margen derecha de la quebrada El Piro, proyección NE-SW, andamio paralelo a la quebrada, de longitud total de 67.50 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 9 disparos en total (7 internos y 2 externos al tendido sísmico).
- Refracción sísmica 2: ejecutada en la margen izquierda de la quebrada El Piro, ubicada sobre el cauce de la quebrada con proyección NE-SW, de longitud total de 67.50 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 9 disparos en total (7 internos y 2 externos al tendido sísmico).
- Refracción sísmica 3: ejecutada en la margen izquierda de la quebrada El Piro, proyección NE-SW, de longitud total de 62.78 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 8 disparos en total (7 internos y 1 externo al tendido sísmico).
- Refracción sísmica 4: ejecutada en la margen izquierda de la quebrada El Piro, sobre el cauce de la quebrada, proyección SE-NW, andamio paralelo a la quebrada, de longitud total de 67.20 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 9 disparos en total (7 internos y 2 externos al tendido sísmico).

### Zona El Tanque

- Refracción sísmica 5: ejecutada en la margen derecha de la quebrada El Piro, proyección E-W, de longitud total de 67.50 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 9 disparos en total (7 internos y 2 externos al tendido sísmico).
- Refracción sísmica 6: ejecutada en la margen izquierda de la quebrada El Piro, proyección SE-NW, andamio paralelo a la quebrada, de longitud total de 67.50 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 9 disparos en total (7 internos y 2 externos al tendido sísmico).
- Refracción sísmica 7: ejecutada en la margen izquierda de la quebrada El Piro aguas arriba de la línea 2, proyección S-N, andamio perpendicular a la quebrada, de longitud total de 67.50 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 9 disparos en total (7 internos y 2 externos al tendido sísmico).
- Refracción sísmica 8: ejecutada en la margen derecha de la quebrada El Piro, proyección SE-NW, andamio paralelo a la quebrada sobre eje de dique, de longitud total de 67.50 metros, interdistancia geofónica de 2.5 metros y 10 disparos en total (7 internos y 2 externos al tendido sísmico).

El detalle de las investigaciones realizadas se presenta en el cuadro siguiente:

Perfil Sísmico n°	Longitud* (m)	Distancia Geófonos (m)	Puntos de energización N°	Fuente de energización	Coordenadas de RS	
					INICIO	FINAL
<b>Comunidad La Cuchilla</b>						
1	67.50	2.5	9	peso	473334.49 284082.93	473276.53 284049.11
2	67.50	2.5	9	peso	473352.17 284111.65	473289.42 284087.41
3	62.78	2.5	8	peso	473243.42 284049.42	473204.26 284009.89
4	67.20	2.5	9	peso	473165.54 283992.21	473129.08 284047.75
<b>Comunidad El Tanque</b>						
5	67.50	2.5	9	peso	473100.23 283925.83	473033.27 283928.35
6	67.50	2.5	9	peso	473076.08 283977.84	473009.05 283983.76
7	67.50	2.5	9	peso	472910.33 283883.92	472903.16 283950.12
8	67.50	2.5	9	peso	472774.87 283751.11	472752.05 283813.93

\* La longitud total insertada ha sido medida a lo largo del terreno natural y no en su proyección horizontal.

En total, en el estudio se realizaron **534.98 metros** de perfiles sísmicos con interdistancia geofónica de 2.5 metros en los perfiles sísmicos del 1 al 8.

Para alcanzar las profundidades requeridas, la energización ha sido realizada aplicando energía de impacto a una placa de hierro a través de un martillo (figura 2), con un total de máximo 9 disparos, subdivididos entre internos a las líneas geofónicas y disparos externos para alcanzar el offset necesario para alcanzar la profundidad de investigación máxima requerida.



Figura 2 – Levantamiento de sismica de refracción

## 2.2 Adquisición de los datos experimentales

El levantamiento sísmico de los datos experimentales ha sido realizado bajo la dirección de la supervisión del Cliente, con quien han sido analizadas las ubicaciones propuestas y adaptadas a las características ambientales del sitio (véase figura 3).

La adquisición de los datos experimentales ha sido realizada durante el periodo del 1 al 8 de noviembre de 2016.

La ubicación de los tendidos sísmicos es evidenciada en las hojas RS-01-02, anexas al informe, conjuntamente al modelo de velocidad de la onda P resultado de la inversión de los datos sísmicos.

Para cada línea han sido realizados mínimo 8 disparos, necesarios a la reconstrucción de modelos tomográficos confiables y a la interpretación de los datos obteniendo una cobertura adecuada.

Las líneas sísmicas han sido adquiridas, como se puede ver en la figura siguiente, aplicando energía de impacto a una placa de hierro a través de un martillo, suficiente para alcanzar la profundidad de investigación requerida.



### 3. EQUIPOS EMPLEADOS Y PERSONAL TÉCNICO

Para la realización de la prospección sísmica, como se puede ver en la figura siguiente, han sido utilizados los siguientes equipos:

N°	INSTRUMENTAL SISMICO
1	Sismógrafo GEOMETRICS Geode 24 canales
1	P.C. portátil Dell
24	Geófonos verticales con frecuencia de 14 Hz
1	Maso de 10 lbs



Figura 4 – Equipos empleados durante la fase de adquisición (Sismógrafo Geometrics 24 canales y geófono vertical)

Para la realización de la prospección en el campo y de las sucesivas operaciones de interpretación ha sido empleado el siguiente personal:

Responsable del Proyecto	DR. GEOL. A. CERBONESCHI
Responsable de la Prospección	DR. GEOL. A. CERBONESCHI
Prospector Geofísico	M. RUBIO; B. MARTÍNEZ
Interpretación	DR. GEOL. A. CERBONESCHI; M. RUBIO
Editing	M. RUBIO; B. MARTÍNEZ

## 4. ENFOQUE TÉCNICO Y METODOLOGÍA

### 4.1 Metodología de adquisición

La investigación **sísmica de refracción** ha sido realizada con el levantamiento de 8 perfiles, ubicados en las áreas objeto de estudio de manera que se pudiera determinar la conformación geológico-geofísica-estructural del subsuelo.

En detalle, la prospección geofísica está dirigida a delinear la velocidad  $V_p$  del subsuelo, la continuidad de las capas inconsolidadas, cambios geológicos en dirección vertical y horizontal, velocidades sísmicas de las capas, estructuras como fallas y principalmente la profundidad donde se encuentra el sustrato rocoso. En lo específico, las principales características del levantamiento sísmico de refracción han sido las siguientes:

- Interdistancia geofónica: 2.5 metros.
- Interdistancia entre los puntos de disparos: variable, debido a las condiciones ambientales.
- Fuente de energización: almádana.
- Sample Interval: 0.250 mseg.
- Tiempo de adquisición: 2.0 seg.

La metodología sísmica de refracción prevé la energización del subsuelo mediante impulsos artificiales para la generación de ondas sísmicas compresionales, que en nuestro caso han sido realizados con una masa batiente, debido a la limitada profundidad de investigación a alcanzar.

En base a los tiempos de llegada de las ondas sísmicas P a los varios geófonos, colocados a lo largo de los tendidos realizados, ha sido posible la reconstrucción de las dromocronas (grafico tiempos/distancias), que han permitido determinar el modelo bidimensional tomográfico del subsuelo.

### 4.2 Metodología interpretativa

En base a los tiempos de llegada de las ondas sísmicas a los varios geófonos, colocados a lo largo de las líneas realizadas, ha sido posible la reconstrucción de las dromocronas que han permitido determinar el modelo tomográfico bidimensional de la velocidad de las ondas de compresión P.

Los tiempos de llegada de las ondas P han sido leídos a través de un específico programa de "picking", lo cual permite una precisión de medida hasta 0.1 milisegundos (figura 5). Para la interpretación tomográfica fue necesario

realizar la corrección topográfica correspondiente la cual para este caso, ha sido definida sobre la base de los mapas topográficos proporcionados por el Cliente.

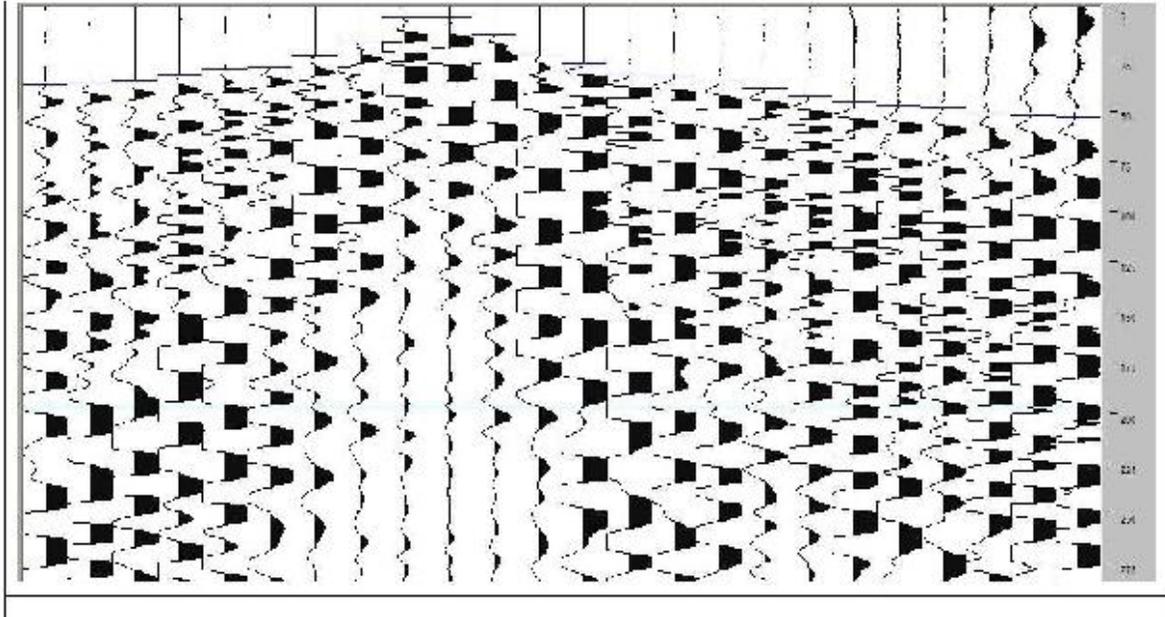


Figura 5 – Ejemplo de picking de un sismograma

Sucesivamente, por medio del programa específico SeisOptpro@2D ver. 5.0, ha sido realizada la interpretación de las líneas sísmicas.

La metodología tomográfica prevé la subdivisión del espacio bidimensional en celdas según una malla preestablecida; a cada una de las celdas se atribuye un determinado valor de velocidad sísmica, luego, se vuelve a calcular el tiempo de tránsito de la onda sísmica a través de la malla del modelo y se confronta tal valor con el experimental.

Por sucesivas iteraciones se llega a valores de velocidad sísmica para todas las celdas que satisfagan simultáneamente varios rayos sísmicos.

En este caso específico, en la representación de las tablas ha sido utilizada una malla cuadrangular de 0.87 X 0.41 metros por el perfil sísmico con interdistancia geofónica de 2.5 metros (RS1-2). Los valores crecientes de velocidad sísmica atribuidos a una celda particular son representados con una escala colorimétrica de 500 hasta 2,000 m/s (véase la leyenda en las hojas anexas).

Además, para facilitar la comprensión de las variaciones del campo de velocidad en profundidad, han sido dibujadas curvas de isovelocidad cada 100 m/s.

Para la determinación del modelo de interpretación, el software SeisOptpro@2D utiliza el método de inversión controlado “Monte Carlo” basado en una modelización avanzada, en la cual los modelos derivados de los algoritmos propios del programa son aceptados o rechazados basándose en un criterio estadístico.



# V&V INGENIEROS, S.A. DE C.V.

Residencial América, calle Cristóbal Colón #3, San Salvador

Tel. 2280-2168, Cel. 7575-1210

E-mail: vyingenieros@gmail.com



El resultado proporcionado por el software es un modelo tomográfico que representa las variaciones del campo de velocidad sísmica de las ondas P con un detalle que es lo definido por la dimensión de las celdas.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 5.1 Introducción

Los datos experimentales adquiridos se caracterizan por una buena calidad de la señal sísmica, la cual ha permitido interpretar adecuadamente los sismogramas de todas las líneas sísmicas en las zonas de estudio. Debido a la buena intensidad de la señal sísmica generada por medio de la fuente de energización, los sismogramas, se presentan claros y con una casi total ausencia de ruido, que ha producido modelos de las ondas sísmicas P confiables.

La investigación realizada ha producido una elevada cantidad de datos geofísicos, representados en modelos del subsuelo de las ondas sísmicas P, de fundamental importancia a los fines del diseño de las lagunas de retención y diques.

Como se puede observar en los modelos tomográficos del campo de velocidad sísmica, la interpretación de los perfiles sísmicos ha evidenciado las variaciones de la  $V_p$  sea con la profundidad que lateralmente, permitiendo apreciar los horizontes geofísicos presentes en el subsuelo de las áreas estudiadas.

En cada área, las diferentes líneas sísmicas adquiridas presentan una buena correspondencia de los modelos, ya sea para lo que concierne los valores de velocidad, ya sea para la geometría de sus variaciones.

Los modelos tomográficos, resultado de la inversión (procedimiento matemático que reconstruye el modelo tomográfico del suelo a partir de las medidas tomadas en campo por los geófonos), han sido subdivididos en los principales horizontes sísmicos encontrados e identificados por medio de siglas, las cuales permiten una reconstrucción del estado geomecánico del macizo que constituye las áreas estudiadas.

El análisis de los resultados prevé un análisis de la conformación del subsuelo ya sea desde el punto de vista geofísico ya sea desde el punto de vista geológico. De hecho, es importante subrayar que la subdivisión en horizontes y siglas ha sido realizada aun sobre la base de los datos geotécnico de los sondeos rotativos ejecutados en las diferentes zonas donde se ejecutara el proyecto.

Más en detalle, los contactos, han sido ubicados ya sea en correspondencia de variaciones de velocidad relevantes (o más bien en correspondencia de un elevado gradiente de velocidad) en función de cambios litológicos importantes detectados en la estratigrafía de los sondeos rotativos. Por lo tanto, los horizontes individuados representan condiciones geomecánicas diferentes, que son indicativos de un cambio de formación o tipología de roca y/o conectados a un diferente grado de compactación, fracturación y alteración.

Tales correlaciones ha sido posible realizarlas debido a la presencia de información de base geotécnica brindadas por el cliente.

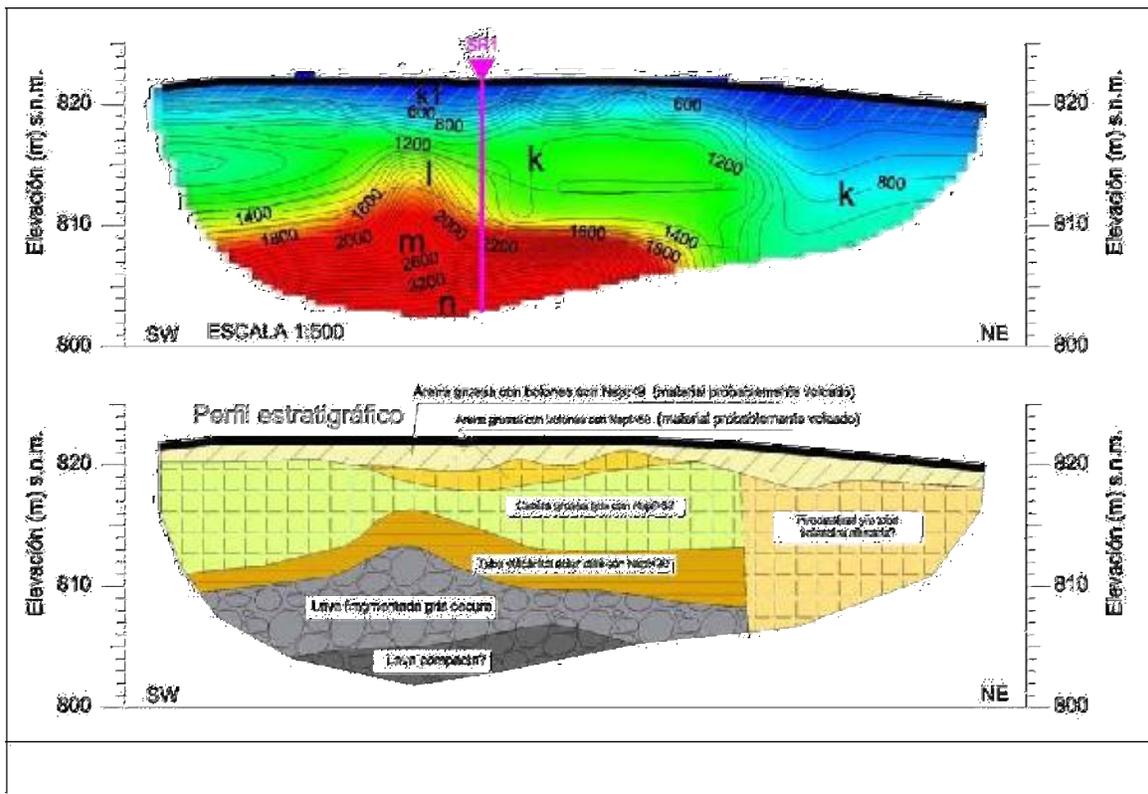
Seguidamente se detallan los resultados obtenidos desde la interpretación de los datos.

## 2 Interpretación de los modelos de velocidad

Las ubicaciones de las líneas sísmicas adquiridas y la interpretación de los modelos geofísicos son representadas en las hojas RS-01-02.

### 5.2.1 ZONA DE LA COMUNIDAD LA CUCHILLA

#### 5.2.1.1 Refracción sísmica RS - 1



*Figura 6 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-1 y perfil estratigráfico*

Refracción sísmica RS - 1 está ubicada en la margen derecha de la quebrada El Piro con una dirección NE-SW tal perfil ha evidenciado la presencia de 5 horizontes sísmicos principales (figura 10).

En detalle, el perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **k1**, caracterizado por velocidad de las ondas P inferiores a 600 m/seg y se caracteriza por un espesor promedio de 2 metros en la zona SW, alcanzando su espesor máximo de 5 metros en la zona NE con un andamio casi paralelo a la superficie topográfica.

El horizonte en examen, evidencia la presencia de suelos débilmente compactados y, de hecho, según la estratigrafía del sondeo Rotativo Perforación 2 La Cuchilla, se asocia material heterogéneo Constituido principalmente por arena gruesa con bolones (probablemente volcado) con un valor de Nspt <En particular en el perfil estratigráfico se evidencia un pequeño estrato del mismo material, pero con un valor de Nspt > 50 probablemente compactado muy bien y/o tal vez la prueba spt ha encontrado un litotipo rocoso.

Debajo del substrato **k1** se encuentra el horizonte denominado con la sigla **k** caracterizado por velocidades de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg; presenta un andamio paralelo a la superficie topográfica con una cota máxima de 820 m.s.n.m. y un espesor de 8 metros en la zona SW y de 10 metros en la zona NE. tal estrato sísmico se puede asociar con la presencia de un litotipo mediamente compactado. De hecho, según la estratigrafía del sondeo rotativo SR1, detecta una capa de material arenoso volcánico y/o ceniza gruesa gris con bolones; este material lo podemos asociar a las velocidades obtenidas en dicho estrato, aunque los valores de Nspt son por la mayoría superiores a 50 golpes.

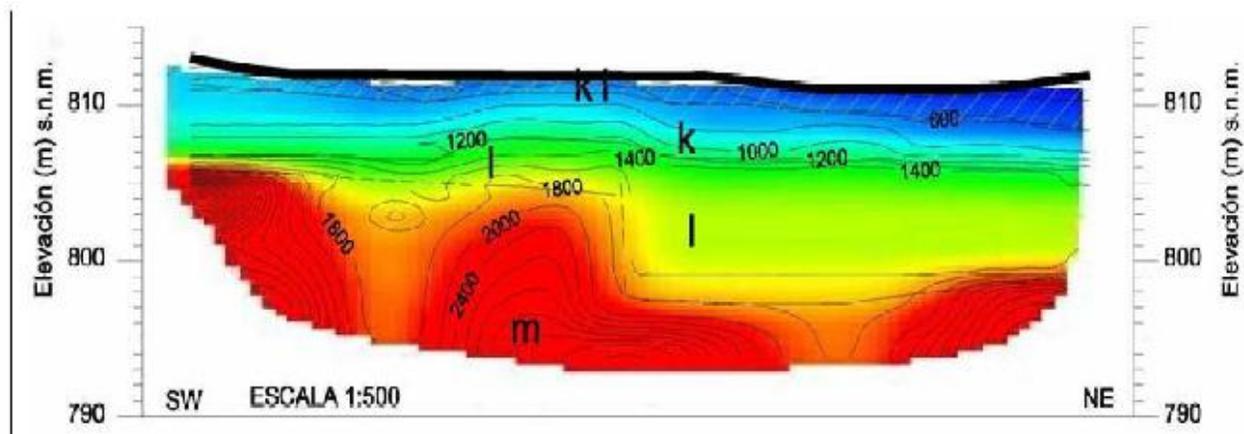
El horizonte **I**, es caracterizado por velocidades de las ondas P entre 1,300 y 1800 m/seg, se ubica entre la cota máxima de 817 m.s.n.m. (zona entre los disparos pd6 a pd8) y evidencia la presencia de un litotipo compacto. Según el sondeo rotativo realizado en la zona se evidencia un material compacto café oscuro (probablemente toba) con un valor de Nspt < 20. Tal valor muy bajo probablemente puede ser conectado con un alto porcentaje de humedad que generalmente disminuye sus características geotécnicas y al revés puede aumentar las velocidades geofísicas.

Más en profundidad se encuentra el horizonte **m** caracterizado por velocidades de las ondas P entre 2,000 y 3,000 m/seg; se ubica entre la cota máxima de 813 m.s.n.m. (zona entre los disparos pd6 a pd8) y se asocia, según la estratigrafía del sondeo rotativo SR1 a la presencia de lava andesítica fracturada.

Por fin, se evidencia el horizonte **n**, caracterizado por velocidades de las ondas P arriba de los 3,200 m/seg que se asocia a un material muy compacto poco fracturado y/o alterado (Andesita sana?). Tal estrato sísmico se ubica a partir de la cota máxima de 807 m.s.n.m.

Además, podemos observar una posible discontinuidad incierta en la zona NE entre los disparos 2 y 4 respectivamente que puede explicar la diferencia de espesor de los estratos y sobre todo la disminución de las velocidades sísmicas.

#### 5.2.1.2 Refracción sísmica RS - 2



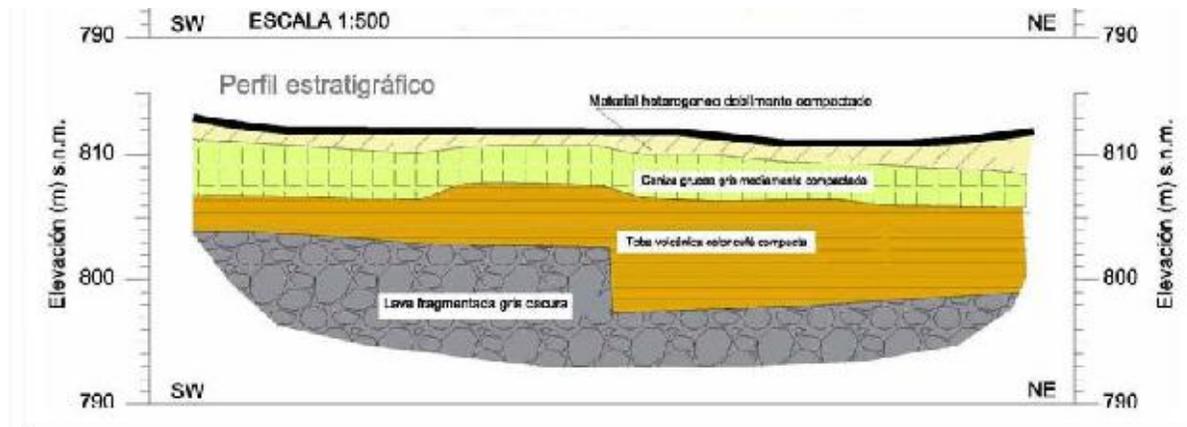


Figura 7 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-2 y perfil estratigráfico.

Refracción sísmica 2 es ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Piro con una dirección NE-SW tal perfil ha evidenciado la presencia de 4 horizontes sísmicos principales (figura 11).

El perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **k1**, caracterizado por velocidad de las ondas P inferiores a 600 m/seg y se caracteriza por un espesor promedio de 2 metros en la zona con un andamio casi paralelo a la superficie topográfica.

Tal horizonte evidencia la presencia de suelos débilmente compactados los cuales se podrían asociar a un material areno limoso arcilloso y/o subsuelo con muy bajas características geotécnicas.

Por debajo del substrato **k1** se encuentra el horizonte denominado con la sigla **k** caracterizado por velocidad de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg; presenta un andamio paralelo a la superficie topográfica con una cota máxima de 811 m.s.n.m. y un espesor máximo de 4 metros en la zona SW.

Tal estrato sísmico se puede asociar a un litotipo medianamente compactado que podría ser representado por una capa de material arenoso volcánico tipo escoria volcánica y/o piroclásticas tipo cenizas gruesas gris con bolones como se detecta en el sondeo SR1.

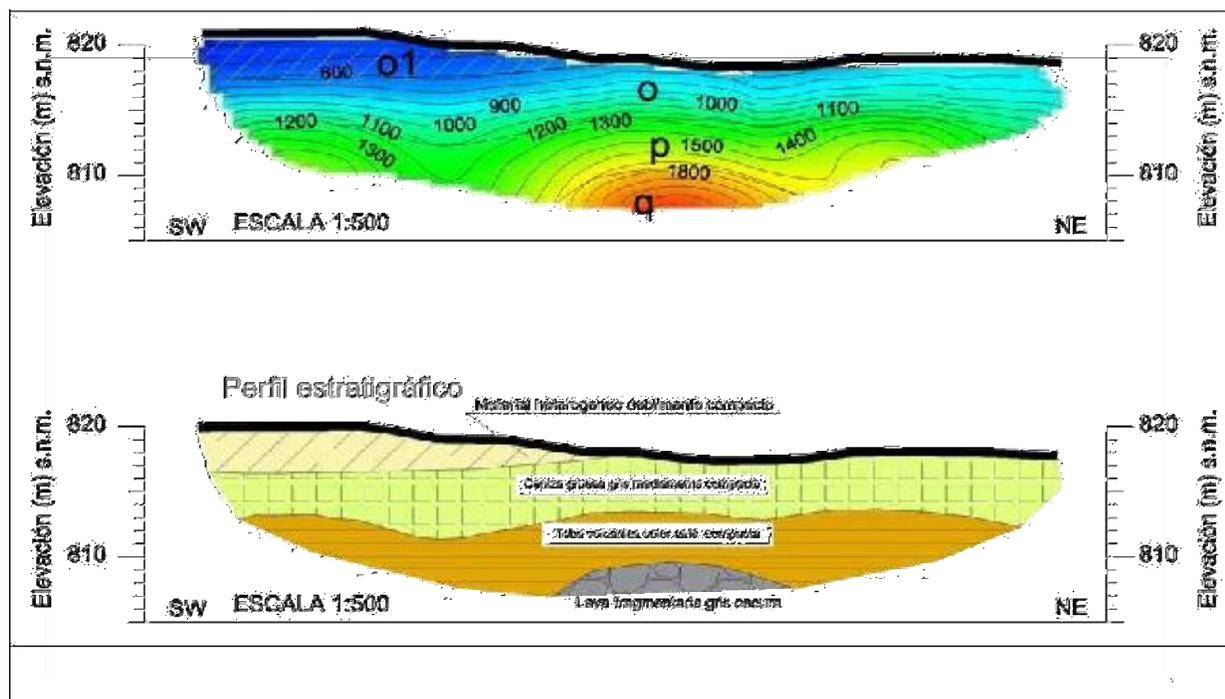
El horizonte **l**, es caracterizado por velocidades de las ondas P entre 1,300 y 1800 m/seg y se ubica entre la cota máxima de 807 m.s.n.m. y mínima de 798 m.s.n.m. tal estrato sísmico se puede asociar con un material compacto y como se detecta en el sondeo rotativo realizado en la zona Perforación SR1 La Cuchilla, se evidencia un material compacto café oscuro tipo toba.

Debajo del horizonte **m**, caracterizado por velocidades de las ondas P arriba de los 2,000 m/seg se detecta, entre la cota máxima de 805 m.s.n.m. en la zona SW y la cota mínima de 798 m s.n.m. en la zona NE, un litotipo muy compacto que podría ser asociado a una brecha volcánica medio compacta y/o una andesita volcánica fracturada y/o alterada como de hecho se detecta a la misma cota en el sondeo rotativo SR1.

En detalle, en tal horizonte se denota una zona de debilidad ubicada, entre los disparos pd7 y pd8 y, en la zona NE el contacto lo podemos observar en la cota 800 m.s.n.m que podría ser conectada con una discontinuidad y/o un material no homogéneo y/o más fracturado y/o alterado.

Por fin, en la zona del disparo pd4 al pd6 podemos observar una discontinuidad incierta que podría explicar también las diferencias de espesor del horizonte I.

### 5.2.1.3 Refracción sísmica RS - 3



*Figura 8 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-3 y perfil estratigráfico.*

Refracción sísmica 3 es ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Piro con una dirección NE-SW tal perfil ha evidenciado la presencia de 4 horizontes sísmicos principales

En detalle, el perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **o1**, caracterizado por velocidad de las ondas P inferiores a 500 m/seg y se caracteriza por un espesor promedio de 3 metros; solamente se observa en la zona SW del perfil.

El horizonte en examen, evidencia la presencia de suelos débilmente compactados y podría ser asociado a un material arenoso limoso arcilloso y/o subsuelo con muy bajas características geotécnicas.

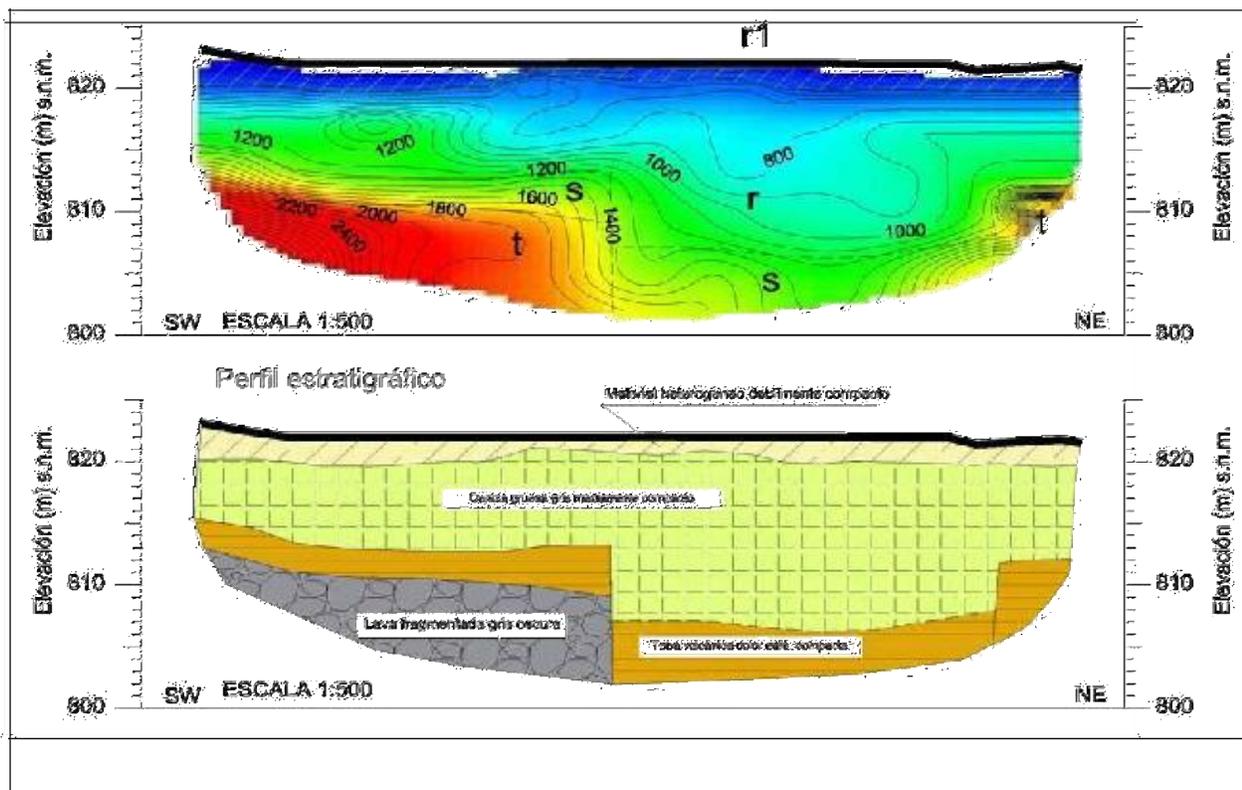
Debajo del substrato **o1** se encuentra el horizonte denominado con la sigla **o** caracterizado por velocidad de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg; presenta paralelo a la superficie topográfica y en la zona NE este contacto lo observamos superficial y en la zona SW lo encontramos a partir de la cota 818 m.s.n.m. con un espesor promedio en todo el estrato de 5 metros.

Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo mediamente compactado, en el SR1 se encuentra una capa de material arenoso volcánico y cenizas con bolones al cual puede ser asociado.

El horizonte **p**, caracterizado por velocidades de las ondas P entre 1,300 y 1,800 m/seg. y se ubica entre la cota máxima de 815 m.s.n.m. Tal estrato sísmico se puede asociar con un material compacto y como se detecta en el sondeo rotativo realizado en la zona Perforación SR1 La Cuchilla, se evidencia un material compacto café oscuro tipo toba.

Debajo del horizonte **q**, caracterizado por velocidades de las ondas P arriba de los 2,000 m/seg. Tal estrato sísmico se ubica entre la cota máxima de 810 m.s.n.m. y se evidencia en la zona central del perfil. Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo muy compacto y/o la presencia de andesita fracturada.

#### 5.2.1.4 Refracción sísmica RS- 4



*Figura 9 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-4 y perfil estratigráfico.*

Refracción sísmica 4 es ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Piro con una dirección NE-SW tal perfil ha evidenciado la presencia de 4 horizontes sísmicos principales.

En detalle, el perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **r1**, caracterizado por velocidad de las ondas P inferiores a 500 m/seg y se caracteriza por un espesor

Promedio de 2 metros y evidencia la presencia de suelo débilmente compactado que podría ser asociado a un material heterogéneo areno limoso arcilloso con características geotécnicas muy bajas.

Más en profundidad se encuentra el horizonte **r** caracterizado por velocidad de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg el cual presenta un contacto con un andamio paralelo a la superficie topográfica y en la zona SW este contacto lo observamos que su espesor es de 6 metros llegando a la cota mínima de 815 m.s.n.m. mientras en la zona NE entre los disparos pd1 al pd6 podemos observar un contacto incierto ubicado en la cota 808 m.s.n.m. y unas discontinuidad inciertas en la zona central del perfil lo que hace evidenciar a una discontinuidad de estratos y una alternancia entre capas.

Tal estrato sísmico se puede asociar a la presencia de un litotipo mediamente compactado y como se detecta en el SR1 se podría conectar a un material arenoso volcánico y/o cenizas con bolones.

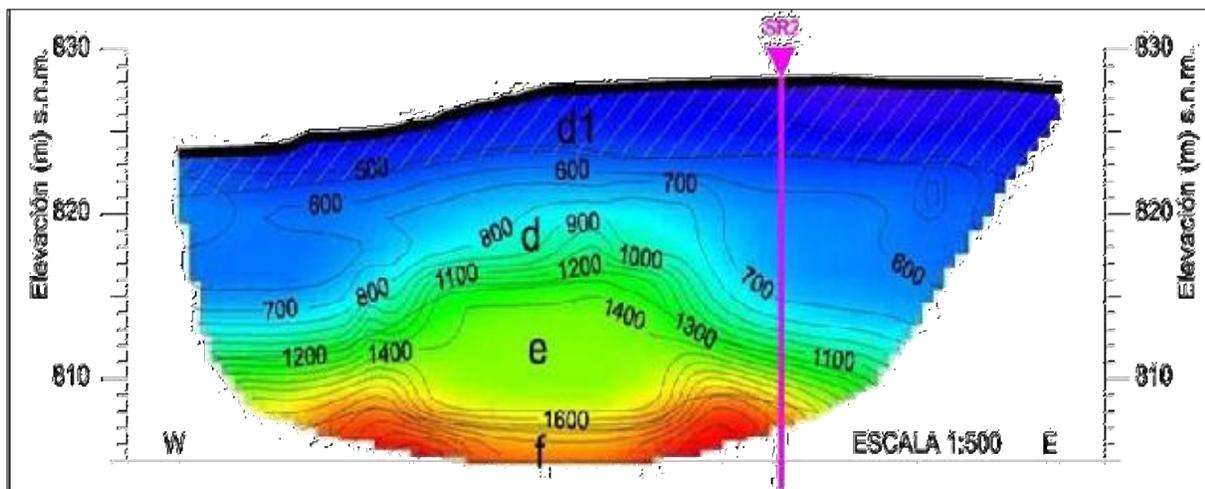
Ubicado entre la cota máxima de 815 m.s.n.m. en la zona SW entre los disparos pd5 al pd9 y la cota mínima de 810 m.s.n.m. en la zona NE, se encuentra el horizonte **s**, caracterizado por velocidades de las ondas P entre 1,300 y 1,800 m/seg. tal estrato sísmico se puede asociar con un material compacto y como se detecta en el sondeo rotativo realizado en la zona Perforación SR1 La Cuchilla, se evidencia un material compacto café oscuro tipo toba.

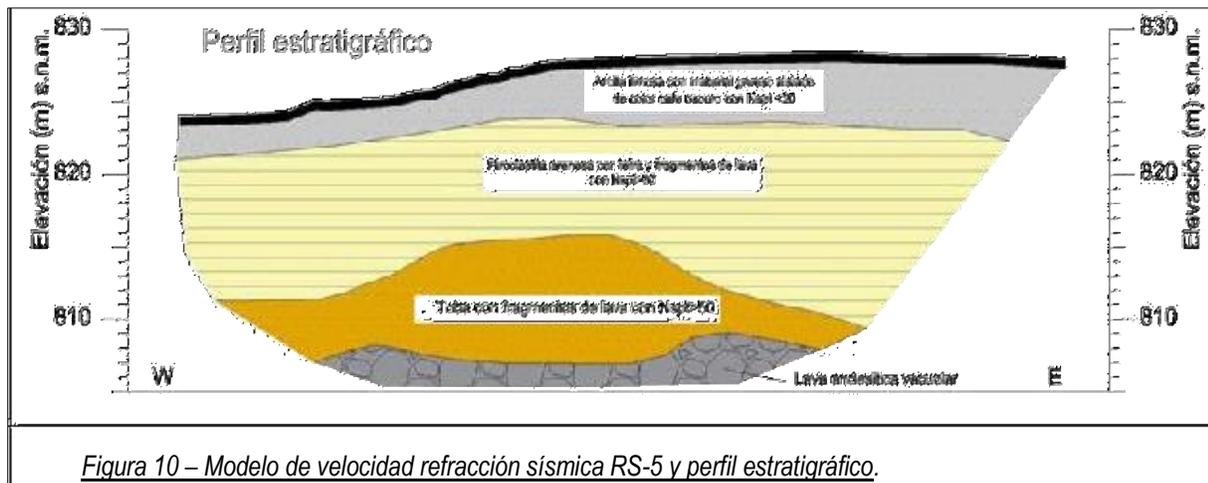
Debajo del horizonte **s** y solamente en la zona SW del perfil, se detecta el estrato sísmico **t** caracterizado por velocidades de las ondas P arriba de los 2,000 m/seg. Tal estrato se encuentra a partir de la cota de 814 m.s.n.m. y se podría asociar a un material muy compacto y/o como en el SR1 encuentra con una capa de andesita fracturada.

Por fin, en la zona central del perfil se evidencian dos discontinuidades inciertas que rebajan el contacto entre los horizontes **r** y **s**.

## ZONA DE LA COMUNIDAD EL TANQUE

### 5.2.1.1 Refracción sísmica RS - 5





La refracción sísmica 5 es ubicada en la margen derecha de la quebrada el Piro con una dirección E-W tal perfil ha evidenciado la presencia de 4 horizontes sísmicos principales.

El perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **d1**, caracterizado por velocidad de las ondas P inferiores a 600 m/seg y se caracteriza por un espesor promedio de 4 metros, alcanzando su espesor máximo de 6 metros en la zona SE, con un andamio casi paralelo a la superficie topográfica.

Tal horizonte evidencia la presencia de suelos débilmente compactos. Y según el sondeo Rotativo SR2 El Tanque; realizado en la zona se evidencia una capa de material de aspecto terroso café oscuro ligeramente plástico (arcilla limosa con material grueso aislado) y con Nspt <20.

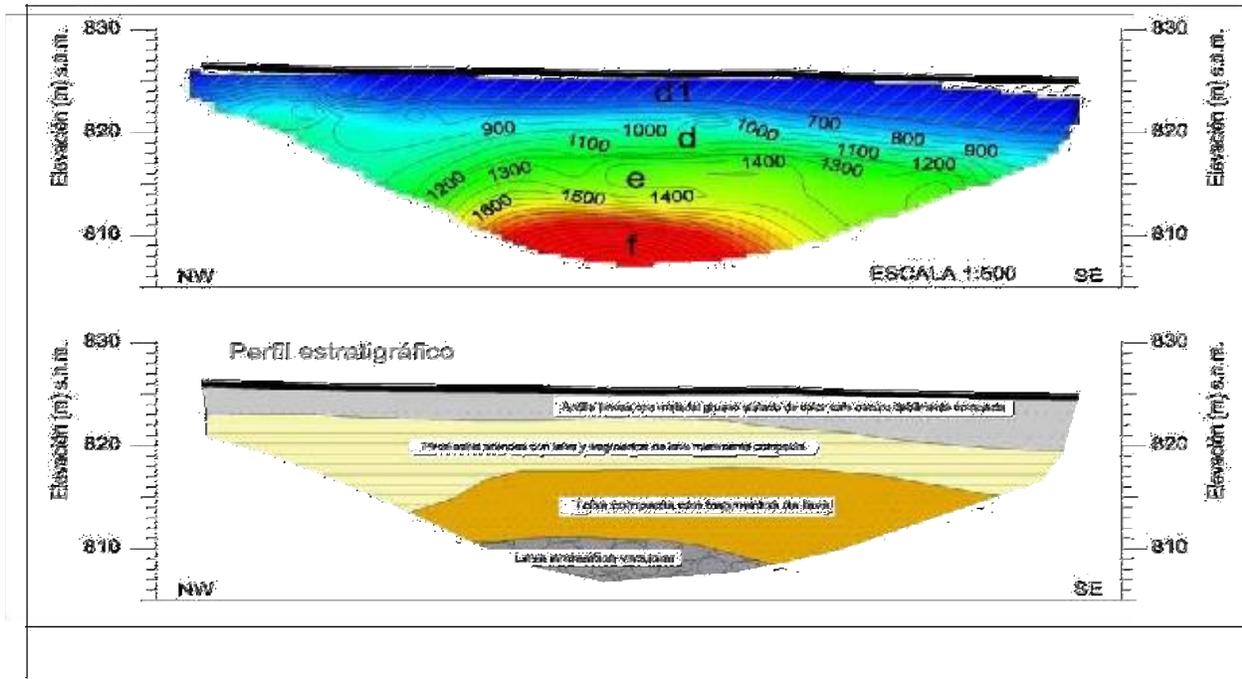
Debajo del substrato **d1** se encuentra el horizonte denominado con la sigla **d** caracterizado por velocidad de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg; presenta un andamio paralelo a la superficie topográfica y un espesor promedio de cerca 10 metros.

Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo mediamente compactado. Según el sondeo rotativo realizado en la zona, se evidencia una capa de material piroclásticos constituido por ceniza y tefra en matriz arenosa con Nspt entre 27 y 50 golpes.

El horizonte **e**, es caracterizado por velocidades de las ondas P entre 1,300 y 1800 m/seg y se ubica entre la cota mínima de 815 m.s.n.m. (zona central del perfil). Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo compacto que se puede asociar, según la estratigrafía del sondeo rotativo realizado en la zona, al material fino arenoso tipo ceniza de color café claro y/o a una piroclastita tipo toba con Nspt > 50.

Más en profundidad encontramos el horizonte **f**, caracterizado por velocidades de las ondas P arriba de los 2,000 m/seg. Tal estrato sísmico se ubica a partir de cota de 808 m.s.n.m y evidencia la presencia de un litotipo muy compacto, de hecho, en la estratigrafía del sondeo rotativo SR2 se detecta una capa de lava andesítica vacuolar fracturada.

5.2.1.2 Refracción sísmica RS - 6



*Figura 11 – Modelo de velocidad refracción sísmica LS-6 y perfil estratigráfico*

La refracción sísmica 6 es ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Piro con una dirección SE– NW El perfil ha evidenciado la presencia de 4 horizontes sísmicos principales.

El perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **d1**, caracterizado por un espesor variable entre 3 y 5 metros con un andamio casi paralelo a la superficie topográfica y por velocidad de las ondas P inferiores a 500 m/seg.

Tal horizonte se puede asociar a suelos débilmente compactados tipo arena arcilloso limosa y/o como se detecta en la estratigrafía del sondeo Rotativo Perforación SR2 El Tanque realizado en la zona a una capa de material de aspecto terroso, color café oscuro y de características ligeramente plástico (arcilla limosa con material grueso aislado).

Debajo del sismoestrato **d1** se encuentra el horizonte denominado con la sigla **d** caracterizado por velocidad de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg; dicho horizonte se presenta casi paralelo a la superficie topográfica y un espesor más profundo en la zona NW de 9 metros y en la zona SE de 3 metros.

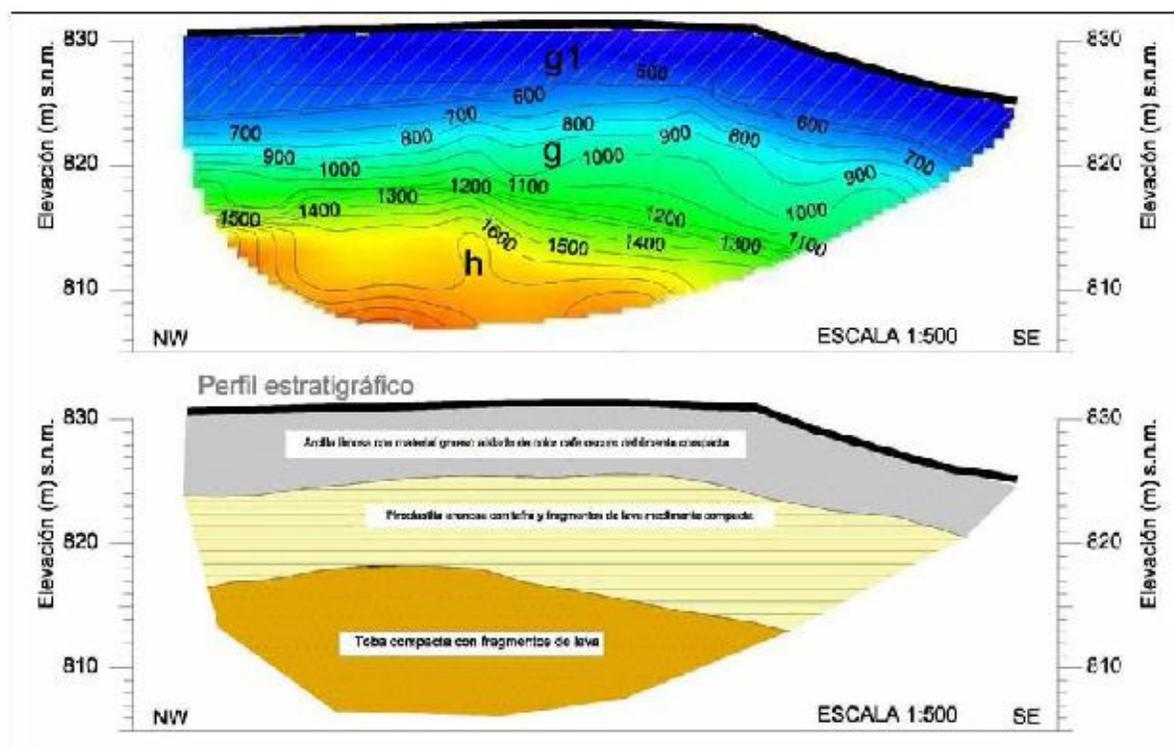
Tal estrato sísmico presenta las características geofísicas de un litotipo mediamente compactado. Según el sondeo rotativo realizado en la zona se podría asociar a una capa de material piroclástico, constituido por ceniza y tefra en matriz arenosa (véase estratigrafía del SR2).

El horizonte **e**, que se ubica entre la cota mínima de 818 y 812 m.s.n.m., se caracteriza por velocidades de las ondas P entre 1,300 y 1,800 m/seg.

Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo compacto que se puede asociar, según la estratigrafía del sondeo rotativo realizado en la zona, al material fino arenoso tipo ceniza de color café claro y/o a una piroclastita tipo toba con  $N_{spt} > 50$ .

Más en profundidad encontramos el horizonte **f**, caracterizado por velocidades de las ondas P arriba de los 2,000 m/seg. Tal estrato sísmico se ubica a partir de la cota de 812 m.s.n.m. y puede ser asociado a la presencia de un litotipo muy compacto como de hecho evidencia el sondeo rotativo realizado en la zona (lava andesítica vacuolar).

### 5.2.1.3 Refracción sísmica RS - 7



*Figura 12 – Modelo de velocidad Refracción sísmica RS-7 y perfil estratigráfico.*

Refracción sísmica 7 es ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Piro con una dirección SE– NW, tal perfil ha evidenciado la presencia de 3 horizontes sísmicos principales.

En detalle, el perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **g1**, caracterizado por velocidad de las ondas P inferiores a 500 m/seg y se caracteriza por un espesor promedio de 6 metros con un andamio casi paralelo a la superficie topográfica.

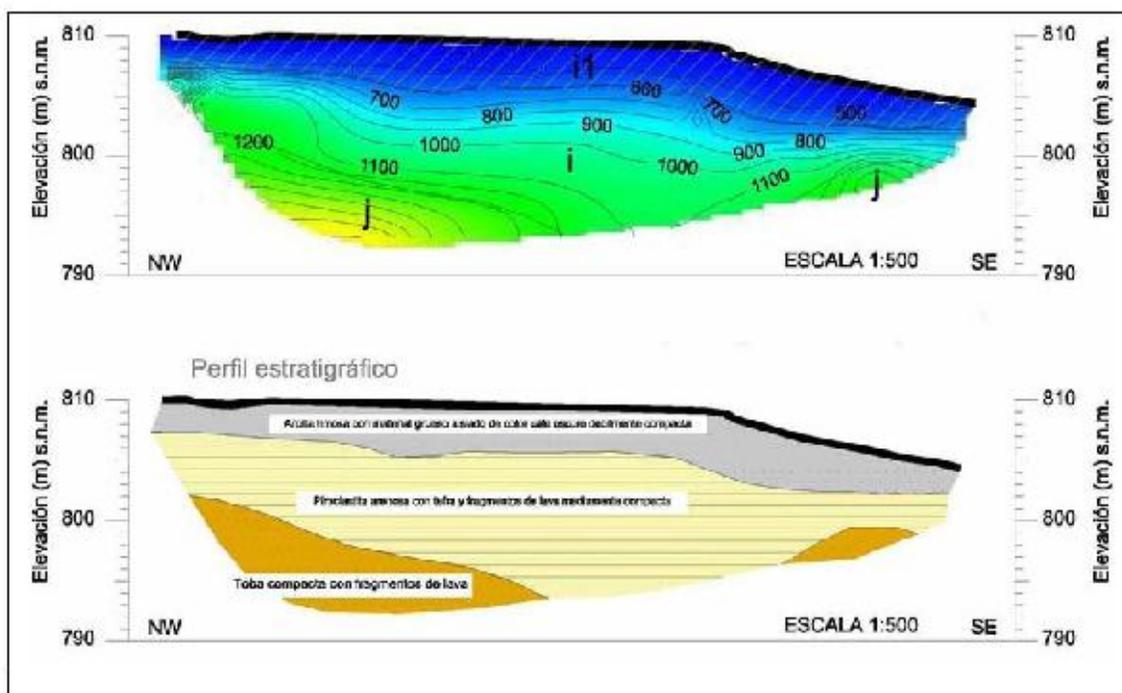
El horizonte en examen, evidencia la presencia de suelos débilmente compactados y podría ser asociado a un material poco compacto y/o una capa de material arcilloso limoso

Debajo del substrato **g1** se encuentra el horizonte denominado con la sigla **g** caracterizado por velocidad de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg; se presenta paralelo a la superficie topográfica y con un espesor de 9 metros en la zona SE y de 7 metros en la zona NW.

Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo mediamente compactado y/o un material piroclásticos tipo ceniza con tefra y fragmentos de lava como se detecta en el SR2.

El horizonte **h**, se caracteriza por velocidades de las ondas P entre 1,300 y 1,800 m/seg, se ubica a partir de la cota máxima de 818 m.s.n.m. y se podría asociar a la presencia de un litotipo compacto y/o una piroclastita compacta tipo toba como se evidencia en el SR2.

#### 5.2.1.4 Refracción sísmica RS - 8



*Figura 13 – Modelo de velocidad refracción sísmica RS-8 y perfil estratigráfico.*

Refracción sísmica 4 es ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Piro con una dirección SE– NW tal perfil ha evidenciado la presencia de 3 horizontes sísmicos principales

En detalle, el perfil evidencia la presencia de un horizonte superficial, identificado con la sigla **i1**, caracterizado por velocidad de las ondas P inferiores a 500 m/seg y se caracteriza por un espesor promedio de 4 metros con un andamio casi paralelo a la superficie topográfica.

El horizonte en examen, evidencia la presencia de suelos débilmente compactados y podría ser asociado a un material poco compacto y/o una capa de material arcilloso limoso.

Debajo del substrato **i1** se encuentra el horizonte denominado con la sigla **i** caracterizado por velocidad de las ondas P entre 600 y 1,200 m/seg; se presenta paralelo a la superficie topográfica y con un espesor variable entre 3 y 11 metros.



## V&V INGENIEROS, S.A. DE C.V.

Residencial América, calle Cristóbal Colón #3, San Salvador

Tel. 2280-2168, Cel. 7575-1210

E-mail: vyingenieros@gmail.com



Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo mediamente compactado y/o un material piroclásticos (ceniza y/o arena) como se detecta en el SR2.

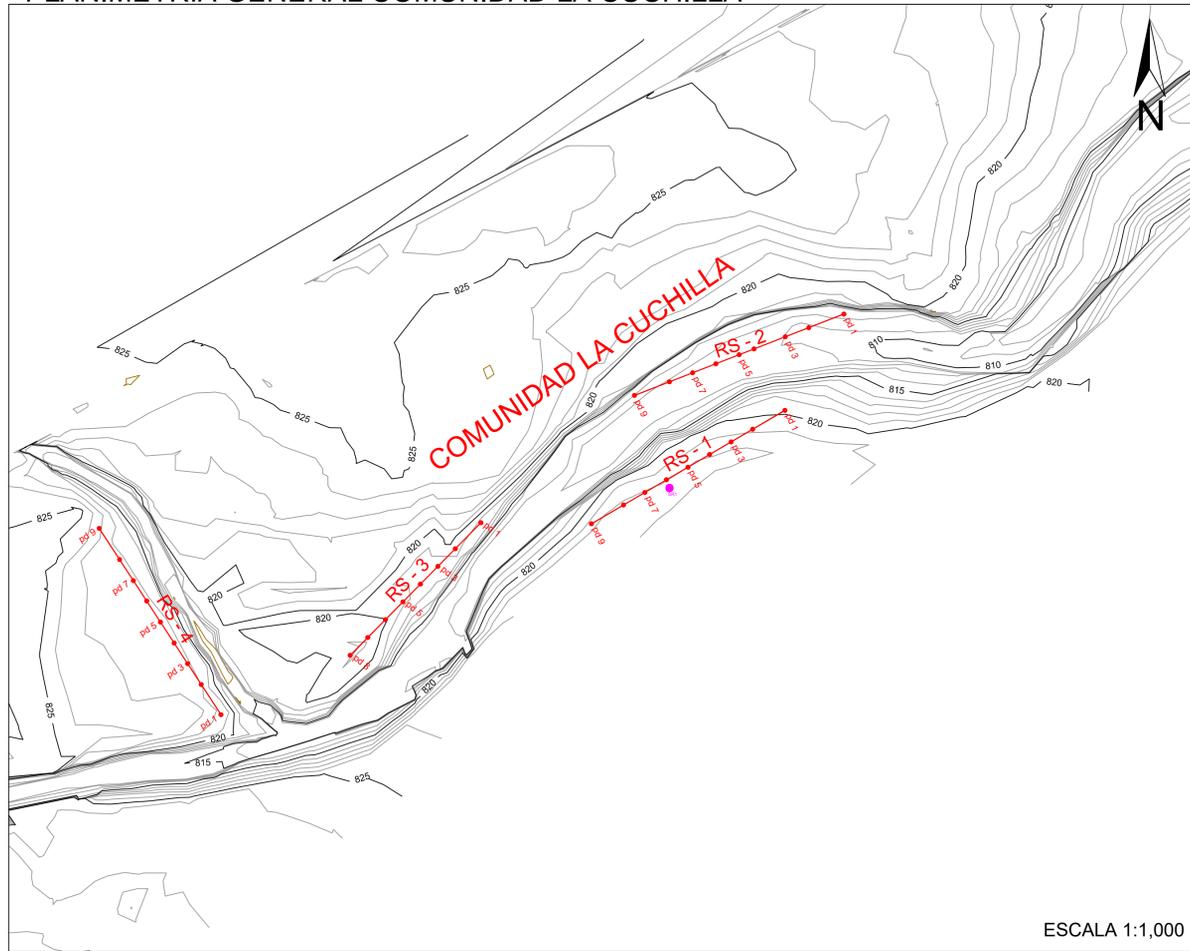
Más profundo se detecta el horizonte j caracterizado por velocidades de las ondas P superiores a los 1,300 m/seg.

Tal estrato sísmico evidencia la presencia de un litotipo compacto que se puede asociar, según la estratigrafía del sondeo rotativo SR2 realizado en la zona, al material fino arenoso tipo ceniza de color café claro y/o piroclastita tipo toba.

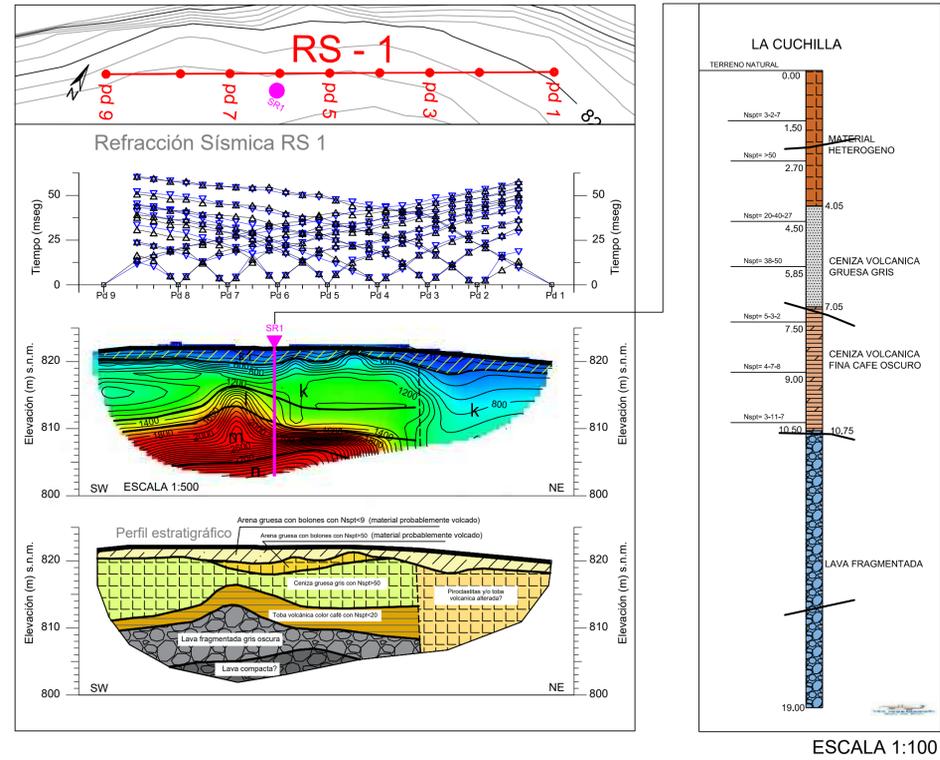
---

Dr. Geólogo Alessio Cerboneschi

# PLANIMETRÍA GENERAL COMUNIDAD LA CUCHILLA



## PLANIMETRÍA DE DETALLE



**LEYENDA PLANIMETRÍA:**

- Línea sísmica (LS1) y punto de disparo (pd1) (Distancia Geofono (m): 5-10 m)

**LEYENDA:**

- Diótomos (L, A) - datos experimental, óxido calculado
- Punto de disparo
- Geofono
- Perfil topográfico
- Curva de isovelicidad en m/s
- Malla sísmica tomográfica LS de 60m 0.87 x 0.41 m

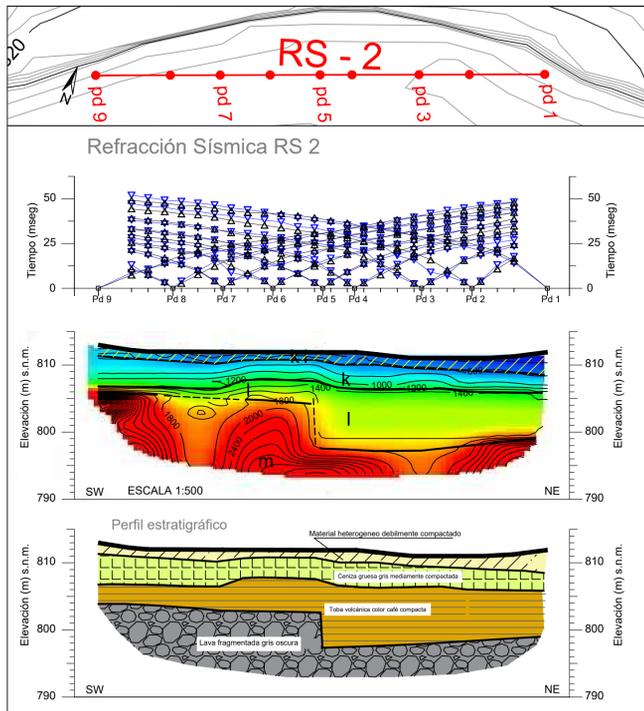
**ESCALA COLORIMÉTRICA VELOCIDAD ONDA P (m/s)**

**LEYENDA INTERPRETACIÓN:**

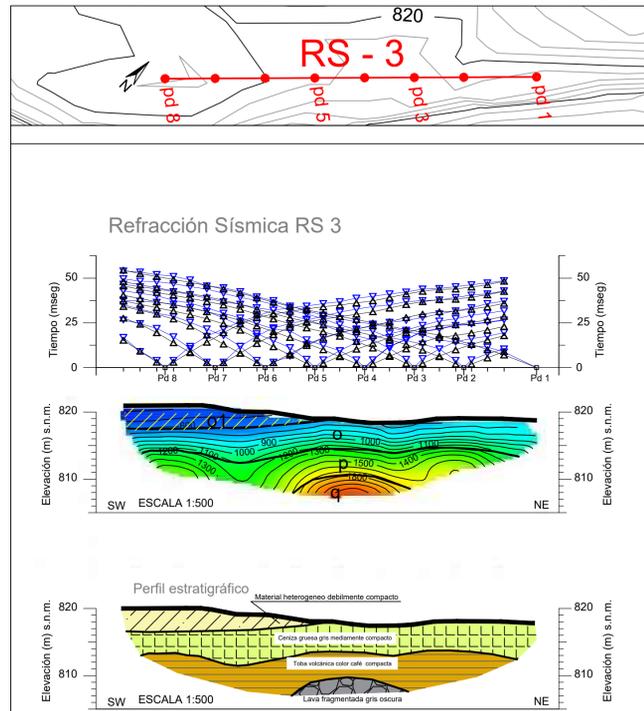
**C**

- Signo de identificación de los horizontes sísmicos
- Contacto entre horizontes geofísicos cierto
- Contacto entre horizontes geofísicos incierto
- Falla incierta
- Zona de debilidad y/o fracturación
- Zona de baja velocidad sísmica
- Ubicaciones Sondeos Rotativos

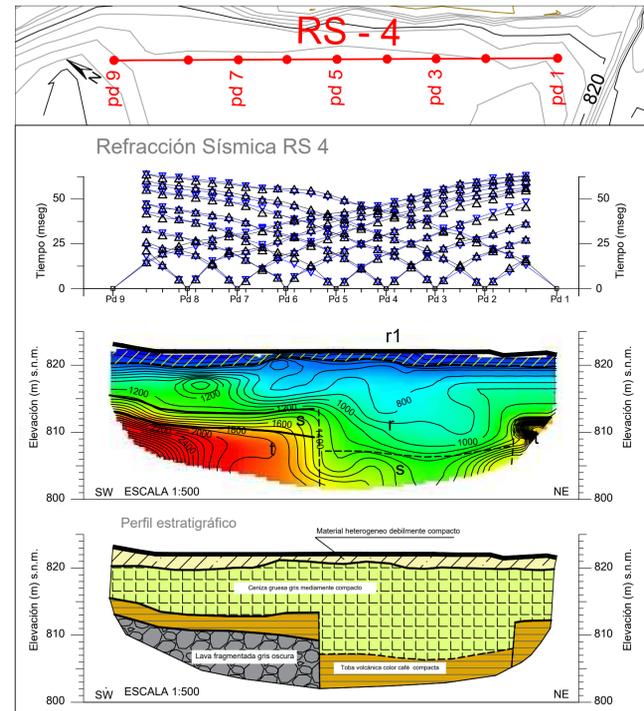
## PLANIMETRÍA DE DETALLE



## PLANIMETRÍA DE DETALLE



## PLANIMETRÍA DE DETALLE



NOMBRE DEL PROYECTO:  
**PROYECTO LAGUNAS DE RETENCIÓN  
ZONA DE ANTIGUO CUSCATLAN COMUNIDAD LA CUCHILLA  
REFRACCIÓN SÍSMICAS 1 - 2 - 3 - 4**

PRESENTA:  
**V&V INGENIEROS S.A. DE C.V.**

RESPONSABLE DEL PROYECTO:  
**ALESSIO CERBONESCHI  
GEÓLOGO**

INTERPRETACIÓN:  
**ALESSIO CERBONESCHI  
GEÓLOGO**

CONTENIDO:  
**INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA  
PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO DE LAGUNAS  
DE RETENCIÓN EN LA ZONA COMUNIDAD EL TANQUE  
REPUBLICA DE EL SALVADOR  
REFRACCIÓN SÍSMICA COMUNIDAD LA CUCHILLA**

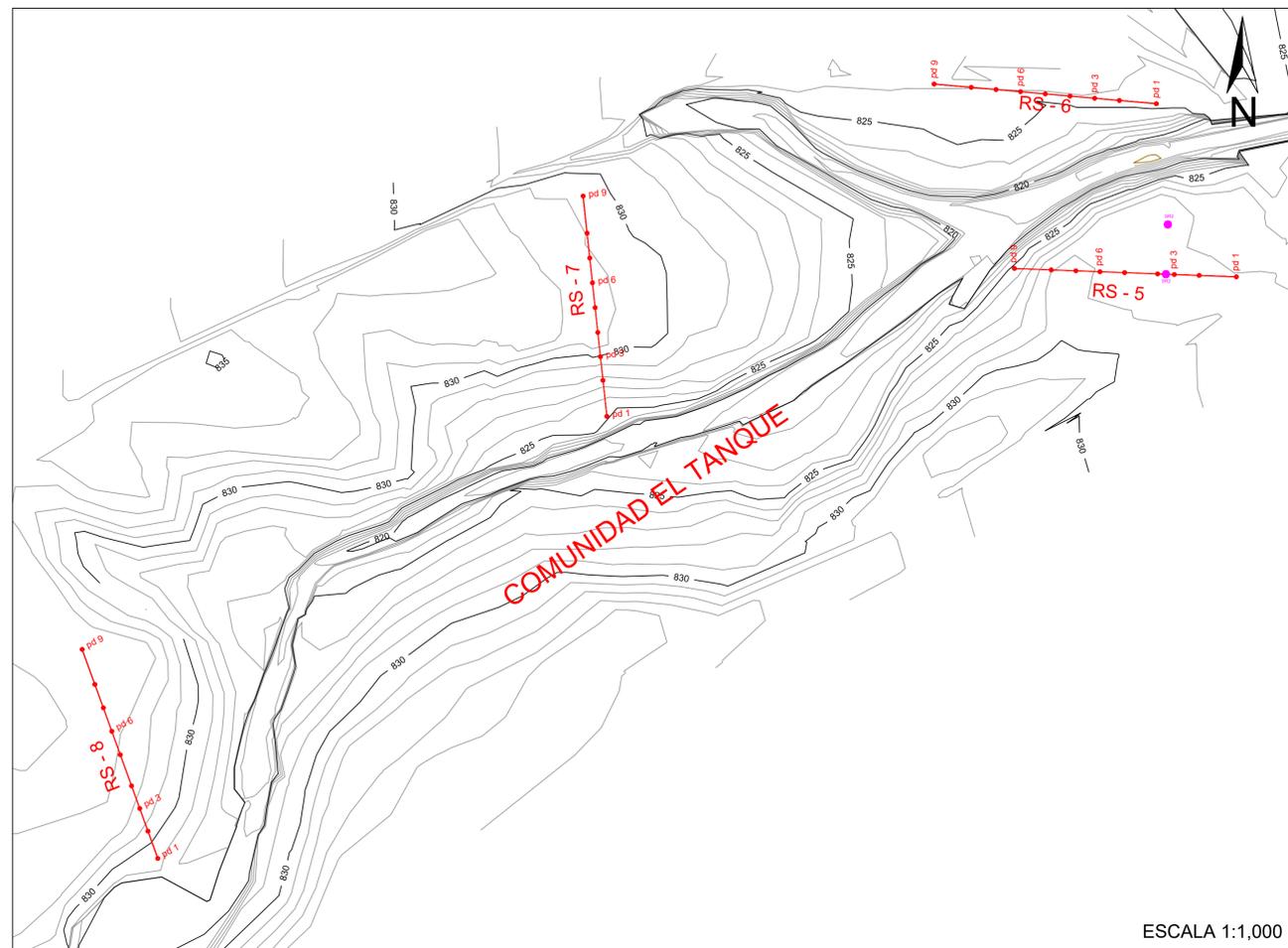
CODIGO: 1631e\_VYINGENIEROS\_RS  
ESCALAS: 1:500 - 1:1,000  
FECHAS: 19/12/2016  
HOJA: RS - 01

MODIFICACIONES:

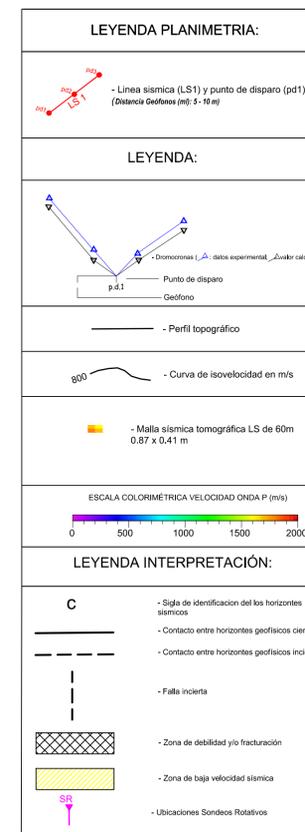
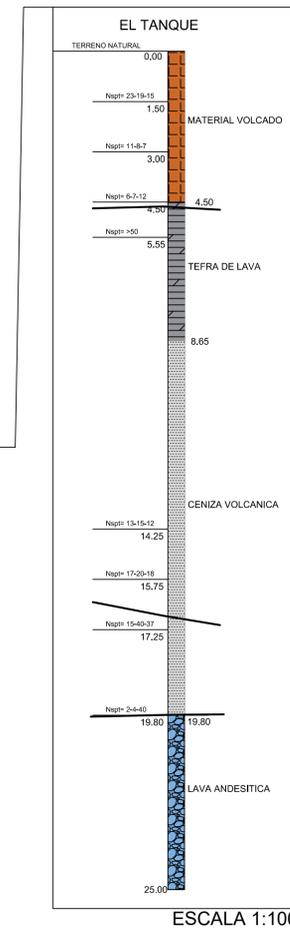
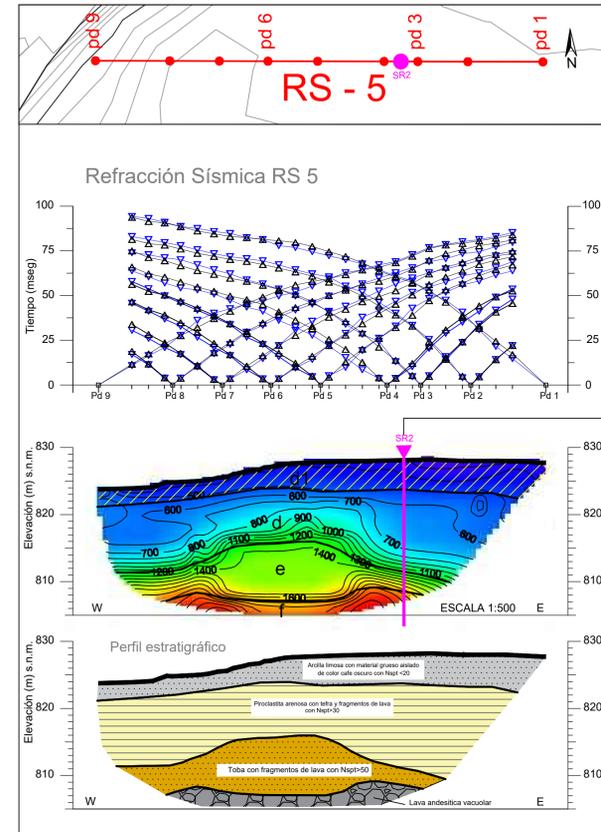
No	DESCRIPCIÓN:	REVISÓ:	APROBÓ:	FECHA:
0	EMISIÓN	DE LUCA	CERBONESCHI	19/12/2016

ARCHIVO: 1631e\_VYINGENIEROS\_RS-01.dwg

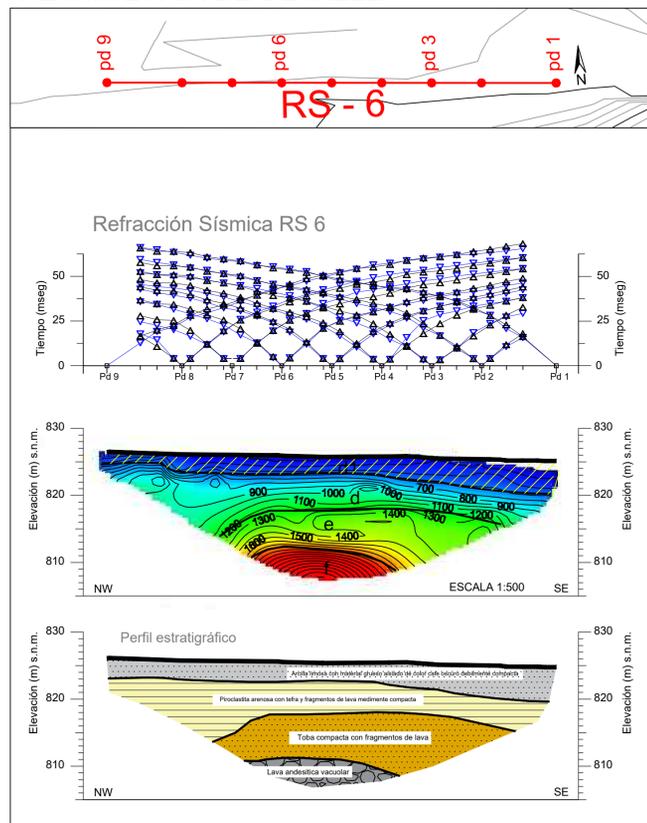
# PLANIMETRÍA GENERAL COMUNIDAD EL TANQUE



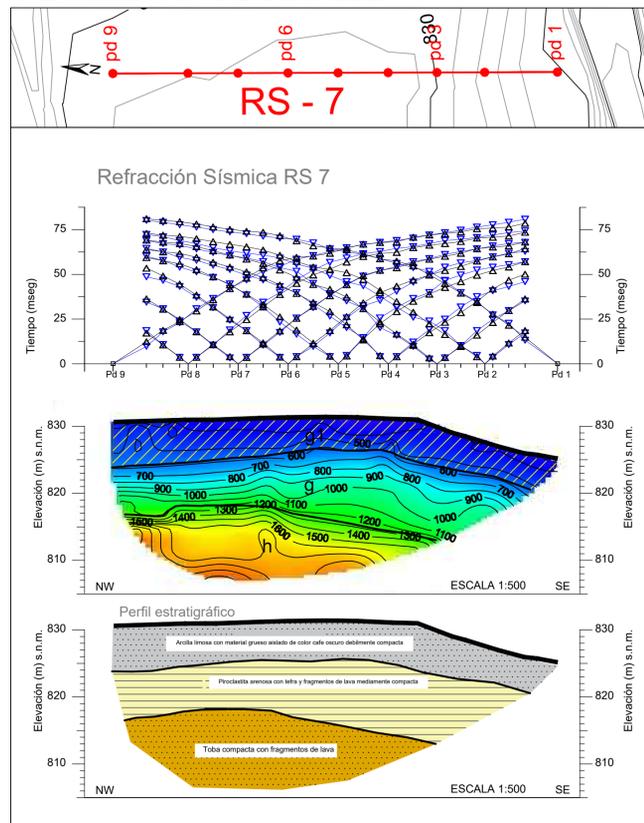
## PLANIMETRÍA DE DETALLE



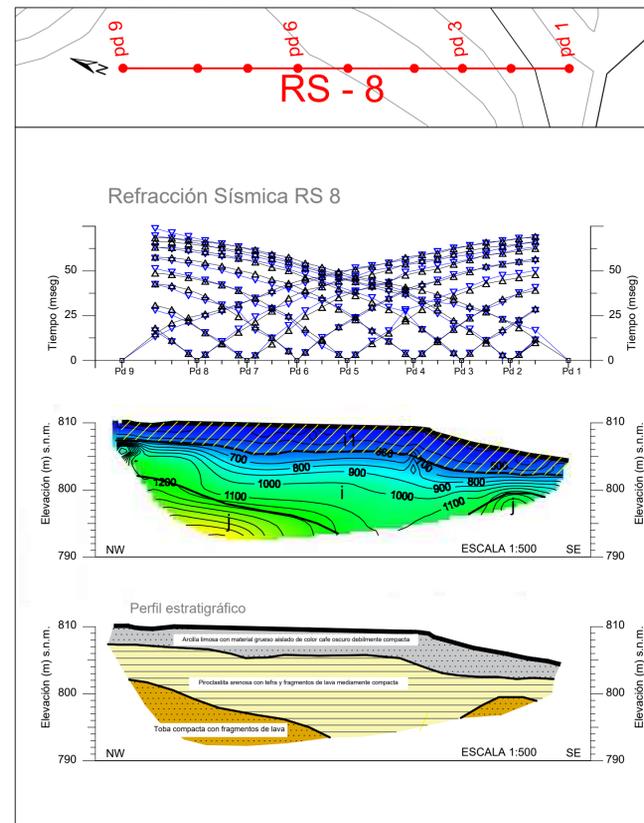
## PLANIMETRÍA DE DETALLE



## PLANIMETRÍA DE DETALLE



## PLANIMETRÍA DE DETALLE



NOMBRE DEL PROYECTO:  
**PROYECTO LAGUNAS DE RETENCIÓN**  
 ZONA DE ANTIGUO CUSCATLAN COMUNIDAD EL TANQUE  
 REFRACCIÓN SÍSMICAS 5 - 6 - 7 - 8

PRESENTA:  
  
 RESPONSABLE DEL PROYECTO:  
**ALESSIO CERBONESCHI**  
 GEÓLOGO  
 INTERPRETACIÓN:  
**ALESSIO CERBONESCHI**  
 GEÓLOGO

CONTENIDO:  
 INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA  
 PARA EL DISEÑO DEL PROYECTO DE LAGUNAS  
 DE RETENCIÓN EN LA ZONA COMUNIDAD EL TANQUE  
 REPUBLICA DE EL SALVADOR  
 REFRACCIÓN SÍSMICA COMUNIDAD EL TANQUE

CODIGO: 1631e\_VYINGENIEROS\_RS  
 ESCALAS: 1:500 - 1:1,000  
 FECHAS: 19/12/2016  
 HOJA: RS - 02

MODIFICACIONES:

No.	DESCRIPCIÓN:	REVISO:	APROBO:	FECHA:
0	EMISIÓN	DE LUCA	CERBONESCHI	19/12/2016

ARCHIVO: 1631e\_VYINGENIEROS\_RS-02.dwg