

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE UNA ZONA DE  
DEPÓSITOS DE RELAVES Y DESMONTE MINERO, PARA DETERMINAR  
SU CONSISTENCIA DE ALMACENAMIENTO DE NUEVOS DEPÓSITOS.  
SIERRA CENTRAL DE PERÚ”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR  
CARLOS DELGADO HERRERA**

**ASESOR  
DR. ING. LUIS HUMBERTO CHIRIF RIVERA**

**LIMA-PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedicado de todo corazón a mi querida e inigualable madre, EVA MARÍA HERRERA SALINAS, quien con su amor, fortaleza, perseverancia y sabiduría construyó en mí una persona de bien y ha sido el eje fundamental para alcanzar mis objetivos; todos mis logros se lo debo a ella, entre los cuales incluye el presente trabajo de tesis.

Madre mía, bendíceme y protégeme siempre a lo largo de la vida; llévame constantemente a tomar correctas decisiones e ir por el camino del bien, te amo madre.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este punto de la vida y concluir el presente logro valioso en mi vida profesional, además de darme salud para conseguir mis objetivos.

Mi sincero agradecimiento a los asesores el Dr. Humberto Chirif Rivera y al Ing. Alfonso Huamán Guerrero, por sus consejos, paciencia y guía profesional para el desarrollo del presente trabajo, sin ellos la elaboración del presente no hubiese sido posible.

Agradecimiento en grande a la empresa consultora SRK Consulting (Peru) S.A., por haberme dado la oportunidad de trabajar en el estudio del proyecto y darme la facilidad de usar la información de campo para el desarrollo del presente trabajo.

Mi agradecimiento eterno a la Universidad Nacional de Ingeniería, mi alma máter y mentora en el proceso de mi formación profesional.

Mi agradecimiento también a los catedráticos de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica (FIGMM), quienes contribuyeron con sus conocimientos, consejos y experiencia para desempeñarme en la vida profesional.

A mis compañeros de estudio y trabajo, quienes apoyaron con sus consejos en todo momento.

A mi adorable familia materna, que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos, apoyándome de manera incondicional, los cuales fueron un soporte importante en mi crecimiento personal y profesional, gracias de todo corazón.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende y se desarrolla en la zona de antiguos depósitos de relave y desmonte minero denominados “El Gavilán”, ubicada en la unidad minera Carahuacra, provincia de Yauli y departamento de Junín.

Con el fin de determinar si esta zona es una alternativa para almacenar nuevos depósitos del proceso de extracción minera, se caracterizó mediante investigaciones geológicas y geotécnicas de campo y laboratorio; el suelo natural, el macizo rocoso y los antiguos depósitos de relave y desmonte minero, que los sobreyacen.

En la zona de investigación, se realizó trabajos de campo de: mapeo geológico a nivel local, perforaciones geotécnicas, ensayos in situ representados por ensayos de penetración estándar, ensayos de permeabilidad, estudios de refracción sísmica, clasificación de suelos y rocas de acuerdo con normas internacionales y toma de muestras de suelos para análisis de laboratorio.

La interpretación de resultados de campo y laboratorio, fundamentalmente de los estudios lito estructurales, de resistividad sísmica, de penetración estándar y ensayos de permeabilidad y otros realizados en los testigos de perforación diamantina, muestran la zona de estudio, con estabilidad física favorable para el almacenamiento de nuevos relaves y desmontes.

Por tanto, las investigaciones realizadas, muestran el basamento del sector del proyecto conformado por suelos, rocas, relaves y desmontes con condiciones geotécnicas favorables de resistencia para la elaboración del diseño de ingeniería y la ejecución de las obras de ampliación de la nueva relavera-desmontera.

**Palabras claves:** Depósitos de relaves, desmonte minero, investigaciones geotécnicas, ampliación, estabilidad física.

## **ABSTRACT**

This research work includes and is developed in old mining tailings and waste deposits called “El Gavilán”, located in the Carahuacra mining unit, Yauli province and Junín department.

To determine whether this area is an alternative to store new deposits from the mining extraction process, the natural soil, the rock massif and the old tailings and mining waste deposits that overlay them.

In the research area, field work was carried out on geological mapping at the local level, geotechnical drilling, in situ tests represented by standard penetration tests, permeability tests, seismic refraction studies, classification of soils and rocks according to standards international and soil sampling for laboratory analysis.

The interpretation of field and laboratory results, mainly from the lithostructural studies, seismic resistivity, standard penetration and permeability tests and others carried out on the diamond drilling cores, show the study area, with favorable physical stability for storage of new tailings and waste.

Therefore, the investigations carried out show the foundation of the project sector made up of soils, rocks, tailings and waste with favorable geotechnical conditions of resistance for the elaboration of the engineering design and the execution of the expansion works of the new tailings-waste deposit.

**Keywords:** Tailings deposits, mining waste, geotechnical investigations, expansion, physical stability.

## **PRÓLOGO**

El presente trabajo de investigación tiene como propósito, contribuir en el estudio de ingeniería de ampliación de los depósitos de relaves y desmonte de mina existentes. Para lograr este objetivo, se ha realizado mediante investigaciones de campo, la caracterización geológica y geotécnica de la zona de relaves y desmonte depositados, contribuyendo y garantizando con los resultados, la estabilidad y seguridad de su ampliación.

El contenido del trabajo de investigación se organizó en seis capítulos, además de las conclusiones y recomendaciones.

El capítulo I se describe la parte introductoria, el planteamiento de problema, objetivo, los antecedentes investigativos relacionados con investigación y generalidad de la zona de estudio.

El capítulo II contiene lo referente al marco teórico y conceptual que sirven de base para el desarrollo de la presente investigación. Además de la metodología de la investigación.

El capítulo III se describe el marco geológico a nivel regional y local de la zona de estudio.

El capítulo IV se describe las investigaciones geotécnicas, consistente principalmente de: cartografiados, sondajes, ensayos y logeos geotécnicos de caracterización geomecánica; geofísica por refracción sísmica y MASW; muestreos y ensayos de mecánica de suelos en laboratorio. Además, del procesamiento e interpretación de la información.

El capítulo V se efectúa a partir de la información obtenida de la data recopilada y de las investigaciones de campo, el análisis y discusión de resultados.

El capítulo VI se refiere a la propuesta de ingeniería a partir de las interpretaciones de las investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas para el presente estudio.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la investigación, para su aplicación y éxito del proyecto.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

PRÓLOGO

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	GENERALIDADES.....	1
1.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.3	OBJETIVO.....	7
1.4	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	7
1.4.1	Investigaciones internacionales .....	8
1.4.2	Investigaciones nacionales .....	10
1.5	GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	13
1.5.1	Ubicación y accesibilidad.....	13
1.5.2	Climatología.....	13
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	15
2.1	MARCO TEÓRICO.....	15
2.1.1	Investigaciones geotécnicas.....	15
2.1.1.1	Perforaciones geotécnicas.....	15
2.1.1.2	Ensayo de penetración estándar (SPT) .....	17
2.1.1.3	Ensayos de permeabilidad .....	18
2.1.1.4	Instalación de piezómetros .....	26
2.1.2	Características geotécnicas del suelo .....	27
2.1.2.1	Tipo de suelo .....	28
2.1.2.2	Clasificación unificada del suelo .....	28
2.1.3	Características geomecánicas de las rocas .....	30

2.1.3.1	Recuperación de muestras de testigo .....	30
2.1.3.2	Índice de calidad de roca (RQD) .....	30
2.1.3.3	Clasificación del macizo rocoso con el sistema RMR .....	31
2.1.4	Prospección geofísica .....	33
2.1.4.1	Ensayo de refracción sísmica.....	34
2.1.4.2	Ensayo MASW.....	35
2.1.5	Análisis de laboratorio de muestras de suelo .....	36
2.1.5.1	Análisis granulométrico por tamizado .....	37
2.1.5.2	Límites de Atterberg.....	38
2.1.5.3	Clasificación SUCS.....	39
2.1.5.4	Contenido de humedad .....	40
2.1.5.5	Ensayo de densidad .....	40
2.2	MARCO CONCEPTUAL.....	40
2.3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	42
2.3.1	Tipo y diseño de investigación .....	42
2.3.2	Unidad de análisis .....	42
2.3.3	Etapas de la investigación.....	42
2.3.4	Matriz de consistencia .....	43
CAPÍTULO III MARCO GEOLÓGICO .....		45
3.1	GEOLOGÍA REGIONAL.....	45
3.1.1	Geomorfología .....	45
3.1.2	Litología.....	46
3.1.3	Geología estructural.....	50
3.2	GEOLOGÍA LOCAL.....	52
3.2.1	Geomorfología .....	52
3.2.2	Litología.....	53
3.2.3	Geología estructural.....	58
CAPÍTULO IV INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.....		59
4.1	INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.....	59
4.1.1	Perforaciones de sondeos geotécnicas .....	59
4.1.2	Ensayos de penetración estándar (SPT).....	61
4.1.3	Ensayos de permeabilidad .....	62

4.1.4	Instalación de piezómetros tipo tubo abierto o Casagrande .....	63
4.1.5	Logueo geotécnico .....	66
4.1.6	Registro fotográfico.....	67
4.1.7	Prospección geofísica .....	68
4.1.8	Muestreo para ensayos de mecánica de suelos .....	69
4.2	PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	70
4.2.1	Zona de Depósitos de Relaves Proyectado .....	70
4.2.1.1	Perforaciones geotécnicas.....	70
4.2.1.2	Ensayos de permeabilidad .....	71
4.2.1.3	Ensayos de SPT.....	74
4.2.1.4	Instalación de piezómetros .....	76
4.2.1.5	Refracción sísmica .....	77
4.2.1.6	Ensayos de MASW .....	79
4.2.1.7	Resultados de laboratorio .....	80
4.2.2	Zona de desmontera proyectada .....	82
4.2.2.1	Perforaciones geotécnicas.....	82
4.2.2.2	Ensayos de permeabilidad .....	83
4.2.2.3	Ensayos de SPT.....	86
4.2.2.4	Instalación de piezómetros .....	86
4.2.2.5	Refracción sísmica .....	87
4.2.2.6	Ensayos de MASW .....	88
CAPÍTULO V	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	89
5.1	EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE DEPÓSITOS DE RELAVES Y DESMONTERA PROYECTADA .....	89
5.1.1	Evaluación geológica.....	90
5.1.2	Parámetros geotécnicos del suelo .....	90
5.1.3	Parámetros geotécnicos del macizo rocoso.....	93
5.1.4	Parámetros hidrogeológicos .....	98
CAPÍTULO VI	PROPUESTA DE INGENIERÍA .....	100
CONCLUSIONES	.....	105
RECOMENDACIONES	.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	112

## **ANEXOS:**

- Anexo 1. Plano de ubicación de los depósitos El Gavilán
- Anexo 2. Mapa geológico regional
- Anexo 3. Mapa geológico local
- Anexo 4. Plano de ubicación de las perforaciones geotécnicas e hidrogeológicas
- Anexo 5. Registros geológicos-geotécnicos
- Anexo 6. Registro de ensayos SPT
- Anexo 7. Registro de ensayos de permeabilidad
- Anexo 8. Secciones geológicas-geotécnicas
- Anexo 9. Registro de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos
- Anexo 10. Panel fotográfico

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Influencia de la litología en el comportamiento geotécnico del terreno .....	4
Tabla 1.2 Estructuras geológicas y problemas geotécnicos.....	4
Tabla 1.3 Efectos de los procesos geológicos relacionados con el agua y su incidencia geotécnica.....	5
Tabla 2.1 Tipos de diámetros de coronas y tuberías de revestimiento.....	17
Tabla 2.2 Factor de forma para interpretación de resultados del ensayo Lefranc.....	21
Tabla 2.3 Interpretación del ensayo Lugeon basado en Houslyby.....	24
Tabla 2.4 Permeabilidad basado en la clasificación de suelos.....	25
Tabla 2.5 Permeabilidad de la matriz rocosa .....	26
Tabla 2.6 Tipo de suelo y tamaño de partículas.....	28
Tabla 2.7 Identificación y descripción de suelos de acuerdo con el SUCS.....	29
Tabla 2.8 Descripción del índice de calidad de roca (RQD) .....	31
Tabla 2.9 Interpretación de los valores de RMR.....	32
Tabla 2.10 Rango de velocidad de las ondas P en varios tipos de suelos y roca .....	35
Tabla 2.11 Tamaños de mallas estándar .....	37
Tabla 2.12 Matriz de consistencia .....	44
Tabla 4.1 Perforaciones de sondajes ejecutados .....	60
Tabla 4.2 Ensayos de SPT ejecutados en los sondajes .....	61
Tabla 4.3 Ensayos de permeabilidad en los sondajes geotécnicos.....	63
Tabla 4.4 Ensayos de permeabilidad en los sondajes hidrogeológicos .....	63
Tabla 4.5 Piezómetros tipo Casagrande en los sondajes ejecutados .....	65
Tabla 4.6 Cantidad de muestras para ensayos de mecánica de suelos .....	70
Tabla 4.8 Ensayos de permeabilidad en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado.....	71
Tabla 4.9 Ensayos SPT en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado.....	75
Tabla 4.10 Piezómetros en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado .....	76
Tabla 4.11 Refracción sísmica en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado.....	77
Tabla 4.12 MASW en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado .....	79
Tabla 4.13 Parámetros índice en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado .....	80
Tabla 4.15 Ensayos de permeabilidad en la zona de Desmontera Proyectada .....	83
Tabla 4.16 Ensayos SPT en la zona de Desmontera Proyectada .....	86
Tabla 4.17 Piezómetros en la zona de Desmontera Proyectada.....	86
Tabla 4.18 Refracción sísmica en la zona de Desmontera Proyectada .....	87
Tabla 4.19 MASW en la zona de Desmontera Proyectada.....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de los depósitos de relaves y desmontes de mina El Gavilán.....	14
Figura 2.1 Esquema del muestreador de caña partida del SPT.....	18
Figura 2.2 Esquemas del ensayo Lugeon a obturador simple y a obturador doble.....	22
Figura 2.3 Esquema de diseño de un piezómetro de tubo abierto.....	27
Figura 2.4 Evaluación del RQD en testigos de roca.....	31
Figura 2.5 Parámetros de clasificación del macizo rocoso y sus valoraciones del sistema RMR89 ....	32
Figura 2.6 Clasificación de las condiciones de discontinuidad del sistema RMR89.....	33
Figura 2.7 Esquema del ensayo de refracción sísmica.....	34
Figura 2.8 Grafica para ilustrar los límites de Atterberg.....	38
Figura 2.9 Gráfica de la carta plasticidad para suelos finos.....	39
Figura 4.1 Ubicación de las perforaciones geotécnicas-hidrogeológicas.....	60
Figura 4.2 Vista de fotografía de las cajas conteniendo muestras de perforación diamantina.....	67
Figura 4.3 Ubicación de las investigaciones geofísicas.....	69
Figura 5.1 Número de golpes de SPT y el ángulo de fricción versus la profundidad.....	92
Figura 5.2 Propiedades físicas de los materiales versus la profundidad.....	93
Figura 5.3 Resistencia estimada de la roca intacta de las formaciones geológicas.....	95
Figura 5.4 Valores de RQD identificados en las perforaciones diamantinas.....	96
Figura 5.5 Condición de las discontinuidades según la valoración de RMR89.....	97
Figura 5.6 Calidad del macizo rocoso según la clasificación RMR89.....	98
Figura 5.7 Conductividad hidráulica evaluadas en las perforaciones diamantinas.....	99
Figura 6.1 Vista de la sección 4 donde se ilustra la proyección del dique al pie de la ladera El Gavilán, para contención de acumulación de los nuevos depósitos de relaves.....	102
Figura 6.2 Vista de la sección 7, ilustrando en corte transversal el tajo El Gavilán y la proyección de acumulación de los nuevos depósitos de relaves.....	103
Figura 6.3 Vista de la sección B, ilustrando en corte transversal la proyección de la acumulación de nuevos depósitos de desmonte minero.....	104

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 GENERALIDADES**

La presente investigación comprende el análisis e interpretación de las características geológicas y geotécnicas que presenta la zona de depósitos de relaves y desmonte minero, ubicada en la Unidad Minera Carahuacra, provincia de Yauli, departamento de Junín.

De la zona de estudio, se ha recolectado información existente de topografía, fisiografía, geomorfología y geología regional.

Las investigaciones realizadas en campo comprendieron: el reconocimiento geológico a nivel local, perforaciones geotécnicas, ensayos in situ como ensayos de penetración estándar y de permeabilidad, instalación de piezómetros, ensayos de refracción sísmica y toma de muestras de suelos para ensayos de laboratorio.

Con la información recolectada existente y la información de campo, la presente investigación analizó las condiciones de estabilidad física de los depósitos de relaves y desmonte minero antiguos, suelos naturales y el macizo

rocoso, determinando condiciones de resistencia apropiadas, que garantizan la ampliación de la relavera y desmontera.

La zona de estudio, además de constituir una alternativa potencial para almacenar nuevos depósitos de relave y desmonte minero, ante el actual incremento de la producción de mineral, presentaría también las condiciones geotécnicas apropiadas para la reubicación de la planta concentradora dentro de esta zona. De esta manera se reduciría el cuidado y supervisión del impacto al medio ambiente, dentro de los límites de la Unidad Minera.

Respecto a la contribución de la presente investigación a otras investigaciones similares, aporta principalmente conocimientos geotécnicos especializados de campo y laboratorio, para la caracterización, definición y puesta en marcha o no, de proyectos de investigación de esta naturaleza.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Actualmente el Perú, específicamente en las compañías mineras, construyen diferentes tipos de estructuras conocidas como desmonteras y relaveras diseñadas para almacenar fragmentos de roca y minerales remanentes de la explotación y concentración minero-metalúrgica, como parte de una operación minera; los cuales son producidos, removidos y utilizados por la misma compañía minera. Además de relaves de mineral y desmonte de mina, en estos espacios se deposita, material excedente de construcción, material orgánico o topsoil, agua, entre otros.

Sin embargo, es de necesidad social y ambiental, la construcción de estas estructuras, diseñando y edificando estas obras de construcción civil bajo

estrictos estándares de ingeniería y protección al medio ambiente (Reyes Parra, 2015).

La falta de nuevos espacios dentro del área de influencia de las unidades mineras, para la construcción de estructuras de acumulación de relaves y desmontes principalmente, es la razón por lo que se opta por otras alternativas, como es la reutilización de los depósitos de relaves y desmonte mineros existentes, pero que al no presentar estudios geológicos y geotécnicos detallados, requieren de éstas investigaciones científicas con caracterización técnica, que garanticen la estabilidad física de éstas estructuras para el almacenamiento de nuevos depósitos (Reyes Parra, 2015).

En ese sentido, las investigaciones geológicas y geotécnicas hasta sus fases de detalle son fundamentales para caracterizar las propiedades químicas y físicas de los cimientos rocosos y/o de suelos naturales que almacenan los relaves y desmontes, y decidir la construcción de las estructuras ingenieriles (Krynine & Judd, 1980). No obstante, si es que se limitan o no se realizan las investigaciones geológicas necesarias en estos proyectos de ingeniería, las investigaciones geotécnicas quedarán disminuidas o eliminadas y la obras se construyen sin el soporte técnico científico geológico, sin garantizar su estabilidad y seguridad física (Suyo Rivera, 2016).

En consecuencia, la variedad del medio geológico y sus procesos complejos, son factores que condicionan técnica o económicamente un proyecto (González de Vallejo, 2004).

La Tabla 1.1, presenta una caracterización litológica y física de rocas y suelos, y la Tabla 1.2, una caracterización estructural. Ambas tablas, explican el comportamiento físico resultante para cada caso.

**Tabla 1.1** Influencia de la litología en el comportamiento geotécnico del terreno

<b>Litología</b>	<b>Factores característicos</b>	<b>Problemas geotécnicos</b>
<b>Rocas duras</b>	- Minerales duros y abrasivos.	- Abrasividad. - Dificultad de arranque
<b>Rocas blandas</b>	- Resistencia media a baja. - Minerales alterables.	- Roturas en taludes. - Deformabilidad en túneles. - Cambio de propiedades con el tiempo.
<b>Suelos duros</b>	- Resistencia media a alta.	- Problemas en cimentaciones con arcillas expansivas estructuras colapsables.
<b>Suelos blandos</b>	- Resistencia baja muy baja.	- Asientos en cimentaciones. - Roturas en taludes.
<b>Suelos orgánicos y biogénicos</b>	- Alta compresibilidad. - Estructuras metaestables.	- Subsistencia y colapsos.

**Fuente:** González de Vallejo (2004), Ingeniería Geológica.

**Tabla 1.2** Estructuras geológicas y problemas geotécnicos

<b>Estructuras geológicas</b>	<b>Factores característicos</b>	<b>Problemas geotécnicos</b>
<b>Fallas y fracturas</b>	- Superficies muy continuas; espesor variable.	- Roturas, inestabilidades, acumulaciones de tensiones, filtraciones y alteraciones.
<b>Planos de estratificación</b>	- Superficies continuas, poca separación.	- Roturas, inestabilidades y filtraciones.
<b>Discontinuidades</b>	- Superficies poco continuas, cerradas o poco separadas.	- Roturas, inestabilidades, filtraciones y alteraciones.
<b>Pliegues</b>	- Superficies de gran continuidad.	- Inestabilidades, filtraciones y tensiones condicionadas a la orientación.

<b>Foliación, esquistosidad</b>	- Superficies poco continuas y cerradas.	- Anisotropía en función de la orientación.
---------------------------------	------------------------------------------	---------------------------------------------

**Fuente:** González de Vallejo (2004), Ingeniería Geológica.

La Tabla 1.3, describe la acción química y física del agua, en los minerales que componen las rocas y suelos, así como en su morfología y en los sistemas estructurales que les afectan.

**Tabla 1.3** Efectos de los procesos geológicos relacionados con el agua y su incidencia geotécnica

<b>Procesos geológicos con relación al agua</b>	<b>Efectos sobre materiales</b>	<b>Problemas geotécnicos</b>
<b>Disolución</b>	- Pérdida de material en rocas y suelos solubles. - Karstificación.	- Cavidades. - Hundimientos. - Colapsos.
<b>Erosión-arrastre</b>	- Pérdida de material y lavado. - Erosión interna. - Cárcavas.	- Hundimientos y colapsos. - Asientos. - Sifonamientos y socavaciones. - Aterramientos.
<b>Reacciones químicas</b>	- Cambios en la composición química.	- Ataque a cementos, áridos, metales y rocas.
<b>Alteraciones</b>	- Cambio de propiedades físicas y químicas.	- Pérdida de resistencia. - Aumento de la deformabilidad y permeabilidad.

**Fuente:** González de Vallejo (2002), Ingeniería Geológica.

El desarrollo de estas actividades de investigación geológica y geotécnica, tienen relación con la siguiente normatividad del estado:

La construcción de componentes mineros, como depósitos de relaves y desmonte de mina, deben de estar aprobados mediante la elaboración estudios de impacto ambiental; y posterior a su construcción, según la normativa peruana como el reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería de Perú (D.S. 024-2016-EM), menciona en su Artículo 400°, que cada dos años el

titular minero debe presentar, ante la autoridad competente, un estudio de estabilidad física de almacenamiento de depósitos de relave, desmonte de mina, entre otros que asegure las operaciones de manera segura.

La unidad de análisis de la presente investigación comprende a la minera Carahuacra ubicada en la provincia de Yauli, departamento de Junín, que explota zinc, plomo y plata, poseyendo dentro de sus límites concesionados por el Estado, una zona con depósitos de relave y desmontes de mina depositados y acumulados por operaciones mineras antiguas. Esta zona no cuenta con investigaciones geológicas y geotécnicas detalladas de campo, por lo que se le consideró para este proyecto de caracterización geológica y geotécnica, a fin de decidir su ampliación como depósito de acumulación de nuevos relaves y desmontes.

En relación con las investigaciones propias de campo, se realizan primero el mapeo lito estructural a nivel local; a continuación se desarrolla un programa de geofísica con el o los métodos adecuados, a fin de obtener la caracterización y comportamiento físico mecánico del terreno en profundidad; y finalmente, se ejecuta un programa de perforación diamantina con el fin de obtener los cores o testigos para realizar su logueo geotécnico, pruebas mecánicas, físicas y químicas, estableciendo por comparación las proyecciones efectuadas entre lo mapeado en superficie y lo encontrado por perforación en el subsuelo, haciendo finalmente la caracterización definitiva del comportamiento físico mecánico de la estructura lito estructural encontrada, correspondiente a la zona del proyecto en investigación.

Los ensayos de laboratorio son determinantes en la caracterización geológica, porque aportan valores de los parámetros físicos y geotécnicos de los materiales (González de Vallejo, 2004). De ese modo, las investigaciones permiten conocer los problemas geológicos y determinan el diseño de ampliación de la zona de depósitos de relaves y desmonte mineros para incrementar el almacenamiento de nuevos depósitos.

Con base a lo descrito anteriormente se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las características geológicas y geotécnicas de la zona de depósitos de relaves y desmonte minero, que producirían inestabilidad del terreno e impedirían su ampliación a nuevos depósitos?

### **1.3 OBJETIVO**

Analizar las características geológicas y geotécnicas de la zona de depósitos de relaves y desmonte minero, con el propósito de definir su consistencia para almacenar nuevos depósitos.

### **1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Entre los meses de julio a octubre del año 2020 en la zona de depósitos de relaves y desmonte de mina El Gavilán, la empresa propietaria del proyecto programó las investigaciones geológicas y geotécnicas, como parte del estudio de ingeniería de detalle para la ampliación de los depósitos de almacenamiento de los relaves y desmontes de la nueva operación minera de zinc, plomo y plata, localizada en la provincia de Yauli, departamento de Junín.

Para tal efecto, la empresa minera propietaria de esta operación, subcontrató los de una empresa consultora especializada de la cual fui integrante como

Geólogo Geotecnista, que se encargó del control y supervisión de los trabajos e investigaciones de campo en la zona de depósitos de relaves y desmonte de mina, comprendiendo dentro de ello la ejecución y control de los ensayos de permeabilidad y asesoramiento en la instalación de piezómetros de acuerdo con las especificaciones técnicas entre empresa minera y consultora.

Por la participación directa en estos trabajos, la empresa minera propietaria del proyecto y la empresa consultora especializada me otorga para el presente estudio, el permiso para la utilización de los datos reales obtenidos en las investigaciones de campo.

A continuación, se realiza una breve descripción de antecedentes referenciales relacionadas con el tema de investigación:

#### **1.4.1 Investigaciones internacionales**

Oñate, C. C. (2020) en su informe de tesis “Caracterización geológica y geotécnica para el depósito de relaves en el área Hijuela 10, provincia de Huasco, región de Atacama, Chile”, presentado para optar el título de Geóloga ante la Universidad de Concepción, Chile, indica que realizó recopilación, revisión y validación de la información geológica y geomorfológica existente, incluyendo también la fotointerpretación de imágenes satelitales disponibles del área mediante softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis de riesgos asociados con peligros geológicos del sitio, que pertenece a la Empresa Nacional de Minería. El estudio tuvo por objetivo, determinar la factibilidad de instalar depósitos de relaves, considerando que la zona de estudio se encuentra en una comuna junto a una planta de beneficio de cobre

de la misma empresa minera y a 2.5 km del área urbana. En las conclusiones del estudio menciona que las condiciones geológicas y geomorfológicas del área, presenta muy baja susceptibilidad a las remociones de masa pero que, debido a la trayectoria lógica de los flujos de masa, que provienen a través de quebradas muestran alta susceptibilidad a estos procesos, es latente la posibilidad de propagación de remociones del tipo flujos de barro y/o detritos (aluviones). Finalmente, la información de este estudio de investigación contribuiría al proyecto de fase de diseño para la ubicación definitiva de los depósitos de relaves y las alternativas tecnológicas a emplear.

Moya, G. A. et. al. (2020), en su estudio de investigación “Caracterización de sitio empleando prospección geofísica y geotécnica. Caso de estudio vía principal Troncal Central del Norte (Ruta Nacional 55) a la altura del km 68+500 en el Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Colombia” presentado en la revista Boletín de Ciencias de la Tierra de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Medellín, menciona que sometieron la zona de estudio a investigaciones geotécnicas y geofísicas para caracterizar las propiedades y comportamiento del suelo y subsuelo desde el punto de vista de la ingeniería civil, con el objetivo de clasificar el tipo de perfil del suelo y fijar la respuesta de curva de espectro de aceleración. En cuanto a la prospección geofísica se aplicaron métodos eléctricos y métodos sísmicos tales como la tomografía de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales; respecto a la investigación geotécnica aplicaron el ensayo de penetración estándar, para definir parámetros de diseño geotécnico.

Pensantéz, A. J. (2014), en su trabajo de investigación “Caracterización geológica y geotécnica en el área minera El Corazón, para el diseño de una relavera” para optar el título de Ingeniero Geólogo ante la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas-Ecuador, menciona que se realizaron investigaciones geológicas y geotécnicas en un área de la empresa minera privada Agroindustrial El Corazón, la cual desarrolla actividades de explotación subterránea y el procesamiento de los minerales polimetálicos producidos. La empresa desarrolló las técnicas de investigaciones geológicas y geotécnicas de campo como: geofísica, perforaciones geotécnicas, ensayos de in situ, excavaciones de calicatas y toma de muestras recolectadas para análisis en laboratorio; orientando la investigación al diseño de una relavera. En los resultados de la investigación, indica que se calculó que la capacidad de las presas de relaves sería de 95, 501.71 metros cúbicos, considerando que la planta de beneficio generaría aproximadamente 50 metros cúbicos de desechos por día y un tiempo de vida estimado para la relavera de 5 años. Concluyendo finalmente, que el área investigada, tiene las condiciones técnicas y de seguridad necesarias, para el almacenamiento del material residual proveniente de la planta de beneficio con contenido de elementos pesados.

#### **1.4.2 Investigaciones nacionales**

Rivas, S. L. (2013) en su tesis “Evaluación de la relavera antigua con propósito de usarlo como botadero de desmonte mina para un plan de cierre”, presentado para optar el título de Ingeniero Civil ante la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, indica que realizó recopilación de información existente de

tres áreas de depósitos de relaves 1, 2, 3 y 4 de la Unidad Minera Huarón, integrándola con la información de las investigaciones geotécnicas de campo. Luego de efectuar la caracterización de los materiales involucrados, propuso un diseño de apilamiento del desmonte de mina encima de los depósitos de relaves. De la información de las investigaciones de campo y laboratorio, obtuvo parámetros de resistencia de los materiales que conforman el botadero (relave, material de dique, material de desmonte mina, deposito aluvial y basamentos rocosos). Al término del informe, concluye que las alternativas propuestas para el apilamiento de material de desmonte encima de las relaveras antiguas garantizan condiciones estables.

Apaza, Y. P. (2016) en su tesis “Evaluación geológica y geotécnica para la ampliación de la presa Ancascocha en la cuenca de Yauca, Ayacucho-Arequipa”, presentado para optar el título de Ingeniero Geólogo ante la Universidad Nacional del Altiplano, Perú, menciona que realizó revisión bibliográfica relacionada a la zona de evaluación, inspección técnica del área de estudio para definir el mapeo geológico, la ubicación de las perforaciones diamantinas y ubicación de calicatas. Con los resultados de las investigaciones geológicas y geotécnicas de campo, se ha definido la infraestructura básica de riego en la cuenca de Yauca que abarca los departamentos de Ayacucho y Arequipa, permitiendo el incremento de la producción agrícola en beneficio de la población. Indica también, que los estudios geológicos y geotécnicos, interesan como documento base para la evaluación detallada de la construcción de la presa de tierra, así como para la determinación del control de calidad de los agregados y materiales de cantera.

Cáceres, L. A. y Lipa, C.F. (2019) en tesis “Estudio geológico-geotécnico de factibilidad para la construcción de la presa Esperanza, distrito Pallpata, provincia de Espinar-departamento de Cusco”, presentado para optar el título de Ingeniero Geólogo ante la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, menciona que se realizaron esencialmente, la caracterización geológica y los análisis de suelos de la cuenca y de los materiales que utilizarán para construcción de una presa de concreto. Respecto a la litología de la zona de estudio, son afloramientos rocosos de composición riolítica y dacítica, y depósitos cuaternarios no consolidados de tipo fluvial, aluvial, deluvial, residual, coluvial, fluvio-glaciar, morrénico y sedimentos de bofedal. En cuanto a las condiciones geotécnicas del eje de la presa, clasifica a los suelos como arenas limosas, gravas y mezclas de arena mal graduada con poca cantidad de finos, gravas con mezclas de arena bien graduada con finos y gravas arcillosas con mezcla de arena mal graduada. Finalmente sustenta, que los parámetros geotécnicos y características físico-mecánicas obtenidos con las investigaciones in situ, garantizan la estabilidad del cuerpo de la presa y estanqueidad de las aguas embalsadas en la presa.

Ortiz, S. O. et. al. (2011) en su artículo de investigación “Diseño de disposición conjunta de relaves y desmonte en la mina Yauricocha” publicado en la Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional de Mayor San Marcos, Lima-Perú, menciona que se ha evaluado la factibilidad de co-disposición de relave y desmonte. También indican que se evaluaron varias formas de almacenamiento conjunto desmonte-relave, en donde concluyeron que se

consigue utilizar la inyección de relave espesado a través de tuberías perforadas colocadas en el frente de avance del botadero.

## **1.5 GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO**

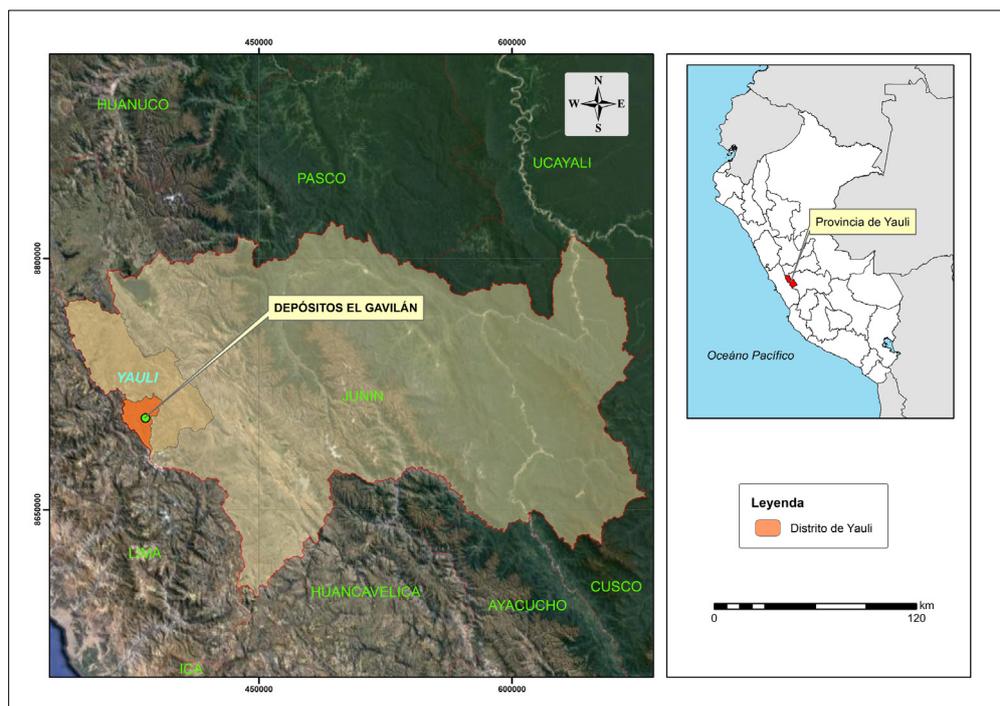
### **1.5.1 Ubicación y accesibilidad**

La zona de los depósitos de relaves y desmonte de mina existentes se encuentra dentro de los límites de la Unidad Minera Carahuacra, distrito y provincia de Yauli, departamento de Junín, tal como se muestra en la Figura 1.1. El área de estudio se localiza a una altitud promedio de 4600 msnm. El acceso desde Lima es a través de la Carretera Central hasta Mahr Túnel en carretera asfaltada (170 km), luego se continúa en trocha carrozable hasta la Unidad Minera (16 km). El tiempo de viaje es de 7 horas.

### **1.5.2 Climatología**

El clima de la zona de estudio es frígido con dos estaciones bien marcadas: entre noviembre y abril es la época de lluvias con precipitaciones ocasionales, nieve o granizo; y entre mayo y octubre es la época de sequía.

La precipitación es de origen orográfico debido a las nubosidades que se forman desde el océano Atlántico y la amazonia oriental y precipitan en la cordillera de los Andes centrales. Las principales precipitaciones se presentan en los meses de diciembre a abril y las menores ocurren en los meses de mayo a setiembre.



**Figura 1.1** Ubicación de los depósitos de relaves y desmontes de mina El Gavilán

**Fuente:** Elaboración propia (2022, ubicación departamental).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

#### **2.1 MARCO TEÓRICO**

Se presenta las bases que servirán de sustento teórico en el desarrollo de la presente investigación, que comprende las siguientes investigaciones geotécnicas: caracterización del suelo; las propiedades geomecánicas de las rocas; los métodos geofísicos aplicables; los análisis de laboratorio aplicables.

##### **2.1.1 Investigaciones geotécnicas**

Se describe la teoría de las investigaciones geotécnicas relacionados a la perforación diamantada para la extracción de muestras del basamento; ensayos físicos a la resistencia de suelos o de penetración estándar (SPT); ensayos de permeabilidad, utilidad de los piezómetros en la medición del potencial acuífero; la clasificación de suelos (SUCS) y rocas (RMR-RQD); refracción sísmica y MASW para determinar las litologías; finalmente los ensayos de laboratorio para los análisis granulométricos mediante tamizados, así como encontrar la humedad y densidad de los suelos y rocas.

##### **2.1.1.1 Perforaciones geotécnicas**

Herrera, H. J y Castilla, G J. (2012) en su libro “Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos”, mencionan que los sondeos geotécnicos

están enfocadas al reconocimiento de la naturaleza de las diferentes capas del subsuelo, que permiten establecer la columna litológica del terreno en el punto de investigación con el registro y descripción ordenado de testigos de perforación. In situ, se realizan ensayos para determinar: ciertas características mecánicas del terreno; permeabilidad en suelos o roca; además la instalación de piezómetros. Para investigaciones en roca, recurren a sondeos por rotación; para suelos, recurren a los sondeos a percusión.

González de Vallejo, L. (2004) en su libro “Ingeniería Geológica”, indica que los sondeos por rotación están en la capacidad de perforar cualquier tipo de suelo o roca hasta profundidades elevadas y de distinta inclinación. La extracción de testigos es continua y el porcentaje de recuperación con respecto a la longitud perforada es muy alto, el cual depende del sistema de extracción. El sistema de perforación consiste en los siguientes elementos integrados a las barras de perforación: cabeza, tubo portatestigo, extractor, mango portaextractor y corona de corte. Por lo general, resulta apropiado utilizar el sistema *wire line*, debido a que disminuye considerablemente los tiempos de maniobras y se obtienen mejores rendimientos. En cuanto a la rotación de la perforación se efectúa con circulación de agua, o lodo bentónico, o en seco, aunque haya presencia de agua o lodo en el taladro.

A continuación, en la Tabla 2.1 se indican los distintos tipos de diámetros de perforación y de testigos mediante el sistema *wire line*, el más usado y recomendado por la convención internacional.

**Tabla 2.1** Tipos de diámetros de coronas y tuberías de revestimiento

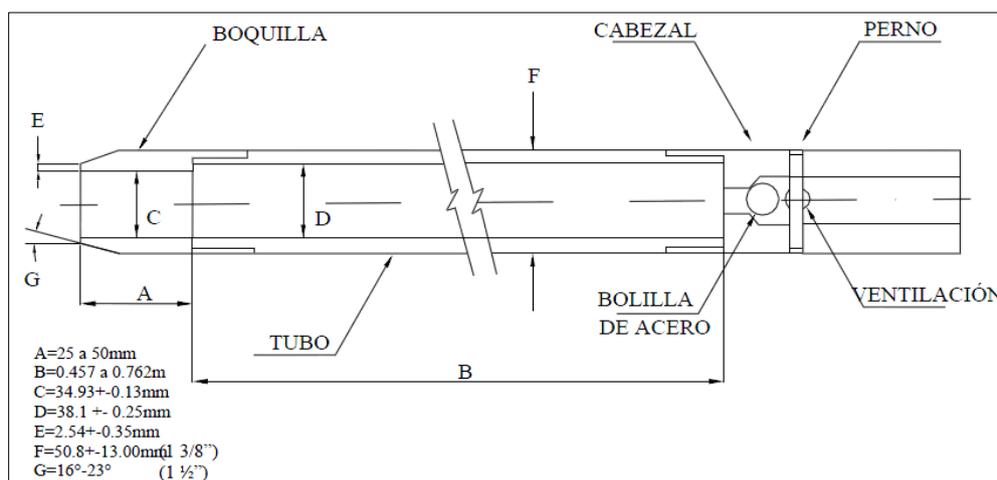
Sistema	Coronas		
	Tamaño	Diámetro de perforación (mm)	Diámetro de testigo (mm)
Sistema americano <i>Diamond Drill Core Manufacturers Association (DCDMA)</i>	AQ	48.0	27.0
	BQ	60.0	36.5
	NQ	75.8	47.6
	HQ	96.0	63.5
	PQ	122.6	85.0
	Tuberías de revestimiento		
	Tamaño	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)
	EW	43.0	38.1
	AW	57.2	48.4
	BW	73.9	60.3
	NW	88.9	76.2
	HW	114.3	101.6
	PW	139.7	127.0
SW	168.3	152.4	
UW	193.7	177.8	
ZW	219.1	203.2	

**Fuente:** Hunt, E. R. (2007), *Geotechnical Investigation Method. A field guide for geotechnical engineers.*

### 2.1.1.2 Ensayo de penetración estándar (SPT)

Devincenzi, M. y Frank, N. (2004) en su publicación “Ensayos geotécnicos in situ, su ejecución e interpretación”, describen que el ensayo de penetración estándar, mejor conocido por sus siglas SPT (*Standard Penetration Test*) sirve para hincar un muestreador de caña partida para obtener una muestra representativa y medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador. La muestra obtenida con el ensayo tiene el propósito de identificación y para ensayos de laboratorio apropiado para suelos. El método del ensayo es extensamente aplicado en una variedad de proyectos de exploración geotécnica, y se encuentra normado según ASTM-D-1586, el cual indica que

consiste en la caída libre desde una altura de 76 cm de un martillo que tiene una masa de 63,5 kg, a través de una barra guía, la cual golpea sobre un cabezal conectado al muestreador mediante barras. El número de golpes (N) necesarios para llevar a cabo la penetración de 30 cm, es definido como la resistencia a la penetración.



**Figura 2.1** Esquema del muestreador de caña partida del SPT  
**Fuente:** ASTM D-1586 (1984), Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.

### 2.1.1.3 Ensayos de permeabilidad

Goicochea, R. J. (1984) en su tesis "Prospección geotécnica en ejes de presa mediante sondajes diamantinos aplicación: Presa Lindachara", describe que los ensayos de permeabilidad realizados en los sondajes diamantinos dan como resultado cuantitativo no perfectos, pero si satisfactorios para necesidades prácticas. A esto se conoce como permeabilidad en grande porque se mide in situ el flujo de agua a través de las fisuras, diaclasas o capas de arena fina, entre otros. Los tipos de ensayos de permeabilidad mayormente usados son el de tipo Lefranc para suelos y el de tipo Lugeon para rocas.

**Ensayo de permeabilidad tipo Lefranc**, es un ensayo que consiste en realizar cargas de agua limpia por gravedad con un caudal constante dentro del sondaje, con el fin de obtener una columna de agua estable manteniendo un nivel dinámico constante en el fondo de la perforación durante un tiempo establecido. Este ensayo, es empleado en terrenos de material tipo suelo o en material rocosos muy fracturados. Los métodos más utilizados por este ensayo consideran lo siguiente:

- Ensayos con tubería de revestimiento hincados al fondo del sondaje.
- Ensayos con el intervalo delimitado por la tubería de revestimiento y el fondo del sondaje.
- Ensayos con uso de obturadores.

Respecto a la realización del ensayo, se tiene dos formas de evaluar la carga hidráulica, de manera constante o de manera variable.

**Ensayo Lefranc de carga constante**, es cuando se inyecta agua a un caudal constante en la cavidad hasta que el nivel se estabilice en el sondaje. El consumo de agua es leído por el caudalímetro y el flujo será mantenido en un mínimo de 10 minutos, en donde la diferencia entre las lecturas sucesivas debe ser mínima. Por lo general, esta forma de realizar el ensayo se aplica en suelos permeables. Según la norma BS EN ISO 22282-1, el cálculo del coeficiente de permeabilidad para el ensayo Lefranc a carga constante, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{Q}{F \cdot \Delta h}$$

Donde:

$K$  = conductividad hidráulica (cm/s).

$Q$  = caudal inyectado (cm<sup>3</sup>/s).

$\Delta h$  = altura del agua dentro del sondeo (cm).

$F$  = factor de forma de acuerdo con la Tabla 2.2.

**Ensayo Lefranc de carga variable**, es cuando se inyecta el sondaje con agua hasta la superficie, para luego medir el tiempo y las alturas que van alcanzando antes de recuperar su nivel. La interpretación de este ensayo se realiza basándose en la ley de Darcy para las condiciones de flujo, y por lo general se aplica en suelos poco permeables. Según la norma BS EN ISO 22282-1, para el cálculo del coeficiente de permeabilidad para ensayos de Lefranc a carga variable se realiza mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{S \cdot \ln \left( \frac{h_0}{h(t)} \right)}{F \cdot (t - t_0)}$$

Donde:

$K$  = conductividad hidráulica (cm/s).

$h_0, h(t)$  = alturas variables medidas respectivamente en los tiempos  $t_0$  y  $t$ .

$F$  = factor de forma de acuerdo con la Tabla 2.2.

$S$  = es el área de la sección interna transversal de la tubería de perforación o tubería vertical según corresponda.

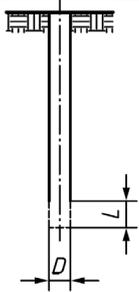
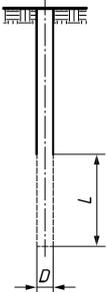
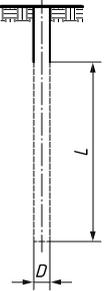
$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Por tanto:

$$K = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \ln \left( \frac{h_0}{h(t)} \right)}{4 \cdot F \cdot (t - t_0)}$$

Según la norma BS EN ISO 22282-1, el factor de forma es el que sirve para la interpretación de los resultados del ensayo de permeabilidad, y se define como se muestra en la Tabla 2.2.

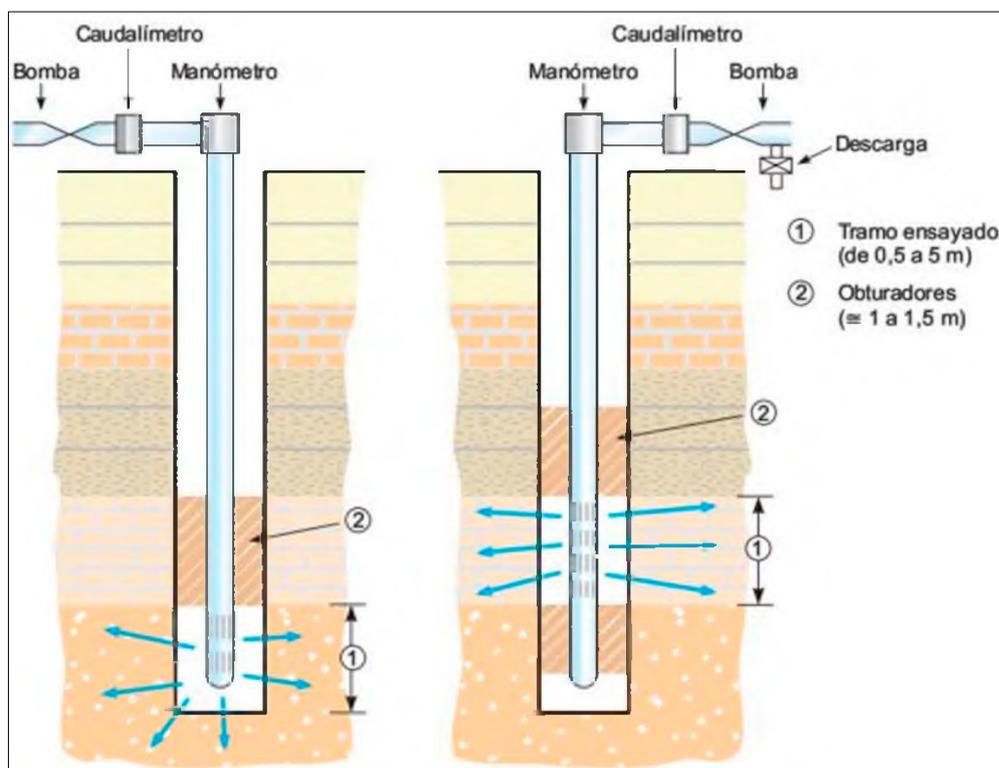
**Tabla 2.2** Factor de forma para interpretación de resultados del ensayo Lefranc

Forma del tramo de ensayo	Factor	Condición
	$F = \pi \cdot D \cdot \sqrt{4 \cdot L/D + 1}$	$0 \leq L/D < 1.2$
	$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\ln\left(\frac{L}{D} + \sqrt{\left(\frac{L}{D}\right)^2 + 1}\right)}$	$1.2 \leq L/D < 10$
	$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\ln(2 \cdot L/D)}$	$L/D \geq 10$

**Fuente:** BS EN ISO 22282-1 (2012), Geotechnical investigation and testing - Geohydraulic testing - Part 1: General rules.

**Ensayo de permeabilidad tipo Lugeon**, consiste en inyectar a presión agua limpia dentro del sondaje diamantino al intervalo de prueba previamente delimitado por un obturador, con el fin de obtener la conductividad hidráulica (K) en distintas unidades hidrogeológicas. Este ensayo se realiza en roca fija

de baja o media permeabilidad, pero ligeramente fisuradas, en consecuencia, la profundidad del obturador debe ser prevista de acuerdo con la observación visual de la fisuración natural apreciando en los testigos obtenidos del sondaje durante la perforación. Cabe indicar que un Lugeon, es la cantidad de agua que se inyecta a un metro de sondaje, teniendo una carga hidráulica equivalente a una columna de agua de 100 m de altura ( $10 \text{ kg/cm}^2$ ). Los tipos de ensayo Lugeon más usados en la exploración geotécnica, son dos, el primero se denomina simple por emplear dos obturadores con el fondo abierto, y el segundo se denomina doble por emplear tres obturadores con una tubería perforada intermedia y fondo cerrado.



**Figura 2.2** Esquemas del ensayo Lugeon a obturador simple y a obturador doble

**Fuente:** González de Vallejo, L. (2004), Ingeniería Geológica.

Para el cálculo del coeficiente de permeabilidad con el ensayo tipo Lugeon, se realiza mediante el criterio del manual de tierras *United States Bureau of Reclamation* (USBR 7310, 1990). En condiciones si  $L \geq 10r$ , se empleará la siguiente expresión:

$$K = \frac{q}{2\pi L \Delta h} \ln \frac{L}{r}$$

Y para la condición si  $10r \geq L \geq r$ , se empleará la siguiente expresión:

$$K = \frac{q}{2\pi L \Delta h} \sin^{-1} \frac{L}{2r}$$

Donde:

K = Coeficiente de permeabilidad (cm/seg).

q = Caudal constante y estabilizado de agua que se inyecta al sondaje (cm<sup>3</sup>/seg).

L = Longitud del tramo de ensayo (cm).

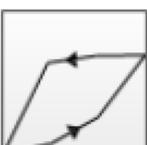
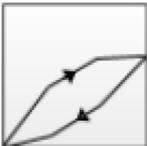
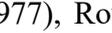
$\Delta h$  = Carga hidráulica en el intervalo de ensayo (cm).

r = Radio del sondaje (cm).

La interpretación de los resultados con el ensayo de Lugeon se realiza mediante curvas características que muestran la relación entre valores de la altura la carga hidráulica ( $\Delta h$ ) aplicado al tramo de ensayo y el caudal estabilizado (q). Dichos valores se obtienen del gráfico de dependencia del gasto y de la presión en función del tiempo, donde se indica de manera secuencial con números los diferentes tramos de presión aplicados en el ciclo de presiones en forma ascendente y descendente, con el fin de analizar el comportamiento del terreno se usa como referencia la interpretación del ensayo Lugeon, el cual se muestra en la Tabla 2.3. Esta interpretación está basada en los sedimentos que se

desprenden durante la perforación obturan la entrada de las fisuras del macizo rocoso atravesado por el sondaje, o en todo caso cuando el sondaje no ha sido limpiado previamente al ensayo; lo cual estos sedimentos podrían falsear los resultados. Asimismo, cuando se emplean presiones muy elevadas ocasionarán fracturamiento artificial, y como consecuencia la desobturación o limpieza progresiva de las fisuras o erosión de estas (Goicochea, 1984).

**Tabla 2.3** Interpretación del ensayo Lugeon basado en Houlby

Tipo de Flujo	Estadios del Ensayo 10 min c/u	Presiones de Prueba Máxima Relativa	Patrones Lugeon Calculados para c/10 min Patrón Generalizado	Características de los patrones e Interpretación	Valor para usar como K del ensayo	Curva de interpretación Flujo vs. Presión Patrón
Flujo Laminar	1°			Los 5 valores Lugeon son aproximadamente iguales	Se usa el promedio de los 5 valores	
	2°					
	3°					
	4°					
	5°					
Flujo Turbulento	1°			El valor Lugeon más bajo ocurre en la presión máxima	Se usa el valor Lugeon para la presión máxima	
	2°					
	3°					
	4°					
	5°					
Flujo Dilatación	1°			El valor Lugeon más alto ocurre en la presión máxima	Se usa los valores Lugeon para las presiones mínimas y/o máximas	
	2°					
	3°					
	4°					
	5°					
Flujo Erosión	1°			Los valores Lugeon aumentan en el proceso de la prueba (por cambios en el medio rocoso)	Se usa el valor Lugeon más alto	
	2°					
	3°					
	4°					
	5°					
Flujo Relleno	1°			Los valores Lugeon decrecen en el proceso de la prueba (los vacíos son gradualmente rellenados)	Se usa el valor Lugeon más bajo	
	2°					
	3°					
	4°					
	5°					

**Fuente:** Houlby, A.C. (1977), Routine Interpretation of the Lugeon Water Test.

**Permeabilidad en suelos y rocas**, la permeabilidad se define como la capacidad que tiene un material de permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna, afirmando que un material es permeable si deja pasar una cantidad apreciable de fluido en un intervalo de tiempo, por lo contrario, un material impermeable es cuando la cantidad d fluido que pasa es despreciable. La velocidad del fluido que atraviesa el material depende de: la porosidad del material, la densidad del fluido (afectado por su temperatura) y la presión a que se encuentra sometido el fluido. En las Tabla 2.4 y Tabla 2.5 se muestran los valores típicos de permeabilidad en varios tipos de suelos y tipos de rocas.

**Tabla 2.4** Permeabilidad basado en la clasificación de suelos

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Permeabilidad (m/s)</b>
Gravas	Bien graduada	$10^{-3}$ a $10^{-1}$
	Pobremente graduada	$10^{-2}$ a $10$
	Limosa	$10^{-7}$ a $10^{-5}$
	Arcillosa	$10^{-8}$ a $10^{-6}$
Arenas	Bien graduada	$10^{-5}$ a $10^{-3}$
	Pobremente graduada	$10^{-4}$ a $10^{-2}$
	Limosas	$10^{-7}$ a $10^{-5}$
	Arcillosa	$10^{-8}$ a $10^{-6}$
Limos inorgánicos	Baja plasticidad	$10^{-9}$ a $10^{-7}$
	Alta plasticidad	$10^{-9}$ a $10^{-7}$
Arcillas inorgánicas	Baja plasticidad	$10^{-9}$ a $10^{-7}$
	Alta plasticidad	$10^{-10}$ a $10^{-8}$
Orgánicos	Con limos/arcillas de baja plasticidad	$10^{-8}$ a $10^{-6}$
	Con limos/arcillas de alta plasticidad	$10^{-7}$ a $10^{-5}$
Turba	Alto contenido de suelo orgánico	$10^{-6}$ a $10^{-4}$

**Fuente:** Burt G. Look (2007), Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables.

**Tabla 2.5** Permeabilidad de la matriz rocosa

<b>Tipo de roca</b>	<b>Permeabilidad (m/s)</b>
Arenisca	$10^{-5}$ a $10^{-10}$
Caliza y dolomía	$10^{-6}$ a $10^{-12}$
Esquisto	$10^{-7}$ a $10^{-8}$
Pizarra	$10^{-11}$ a $10^{-13}$
Granito	$10^{-9}$ a $10^{-12}$
Lutita	$10^{-9}$ a $10^{-13}$
Rocas metamórficas	$10^{-9}$ a $10^{-12}$
Rocas volcánicas	$10^{-7}$ a $10^{-12}$
Sal	$< 10^{-11}$ a $10^{-10}$

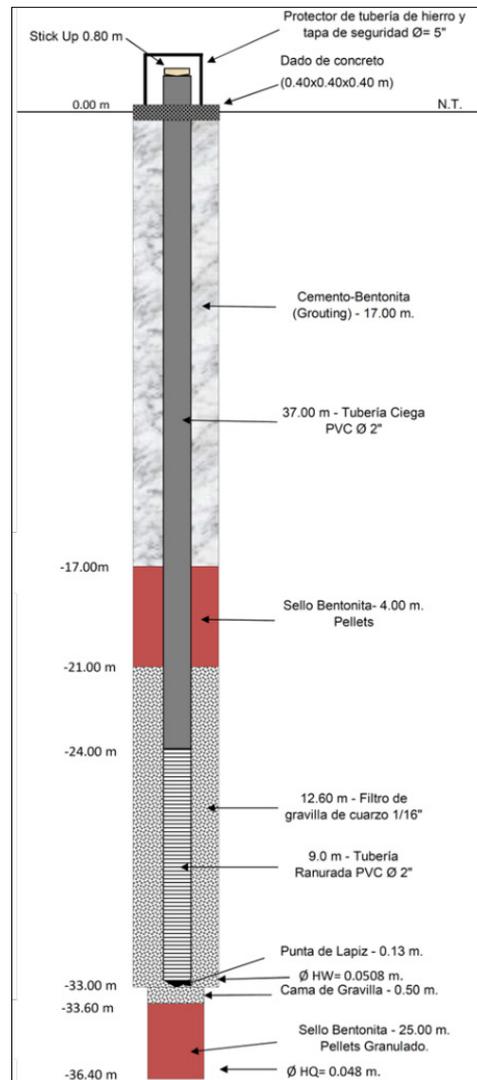
**Fuente:** González de Vallejo, L. (2004), Ingeniería Geológica

#### 2.1.1.4 Instalación de piezómetros

Herrera, H. J y Castilla, G. J. (2012) en su libro “Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos”, señala que los piezómetros se diseñan para medir el potencial hidráulico de forma puntual en niveles acuíferos individualizados. Los tramos filtrantes de la tubería piezométrica son fijados en función de la columna litológica investigada con el sondeo previo y se aislarán los tramos filtrantes del resto del sondeo, colocando tapones en el anular entre la tubería y el taladro. Al finalizar la instalación, los piezómetros serán limpiados mediante bombeo para asegurar una perfecta conexión con el acuífero.

**Piezómetro de tubo abierto o Casagrande**, Read, J. y Stacey, P. (2009) en su libro *Guidelines for Open Pit Slope Desing*, indica que este tipo de piezómetro consiste desde la base del pozo con tubería ranurada de longitud deseada, unida con una tubería impermeable que sube hacia la superficie. El intervalo de tubería ranurada está aislado por un sello superior, generalmente con lechada.

El nivel al que sube el agua en la tubería, indica la presión promedio durante el intervalo perforado.



**Figura 2.3** Esquema de diseño de un piezómetro de tubo abierto  
**Fuente:** González de Vallejo, L. (2004), Ingeniería Geológica.

### 2.1.2 Características geotécnicas del suelo

La descripción para identificar suelos, se basa en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ampliamente recomendado según la norma ASTM D 2488, el cual se realiza la identificación mediante un examen visual y ensayos manuales de campo.

### 2.1.2.1 Tipo de suelo

El tipo de suelo es la información de entrada para la descripción de un suelo. En la Tabla 2.6 se muestra la clasificación del suelo en base al tamaño de sus partículas:

**Tabla 2.6** Tipo de suelo y tamaño de partículas

División mayor	Símbolo	Subdivisión	Tamaño de partícula	
Suelos de partículas gruesas (más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200)		Bloques	> 200 mm	
		Bolones	60 mm - 200 mm	
	Gravas	G	Grueso	20 mm - 60 mm
			Medio	6 mm - 20 mm
			Fino	2 mm - 6 mm
	Arenas	S	Grueso	0.6 mm - 2 mm
			Medio	0.2 mm - 0.6 mm
			Fino	75 $\mu$ m - 0.2 mm
	Suelos de partículas finas (más de la mitad más de la mitad del material pasa la malla N° 200)	Limos	M	Alta/baja plasticidad
		Arcillas	C	
Orgánicos		O		

**Fuente:** Burt G. Look (2007), Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables

### 2.1.2.2 Clasificación unificada del suelo

La clasificación del suelo está basada en el Sistema de Clasificación Unificada (SUCS), usado en la actualidad en el mundo, fue fundamentado en el criterio del Sistema de Clasificación de Aeropuertos en 1942 por A. Casagrande, para después ser adoptado por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América. En la Tabla 2.7 se muestra la identificación y descripción de acuerdo con el SUCS:

**Tabla 2.7** Identificación y descripción de suelos de acuerdo con el SUCS

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)				SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS		
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla N° 200	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida en la malla N° 4	Gravas limpias (poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos		
		Gravas con finos (capacidad apreciable de partículas finas)	Fracción fina poco o nada plástica	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limos		
			Fracción fina plástica	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa en la malla N° 4	Arenas limpias (poco o nada de partículas finas)	Amplia gama en los tamaños de las partículas y cantidades apreciables de todos los tamaños	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos		
			Predominio de un tamaño o un tipo de tamaños, con ausencia de algunos tamaños intermedios	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos		
		Arenas con finos (capacidad apreciable de partículas finas)	Fracción fina poco o nada plástica	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		
			Fracción fina plástica	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
			<b>PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN EN LA FRACCIÓN QUE PASA LA MALLA N° 40</b>				
			<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa la malla N° 200	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite líquido menor de 50	Resistencia en estado seco	Dilatancia	Tenacidad
Nula o ligera	Rápida o lenta	Nula			ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	
Media o alta	Nula o muy lenta	Media			CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres	
Ligera o media	Lenta	Ligera			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite líquido mayor de 50	Ligera o media	Lenta o nula		Ligera o media	MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos	
	Alta o muy alta	Nula		Alta	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	
	Media a alta	Nula o muy lenta		Ligera a media	OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad	
	<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>				Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	
	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa						

**Fuente:** Juaréz, B. E. y Rico, R. A. (2005). Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos.

### **2.1.3 Características geomecánicas de las rocas**

La descripción del macizo rocoso toma datos cualitativos y si fuera posible cuantitativos, por lo que los métodos de caracterización normalmente permiten obtener valores numéricos. En ese sentido, con la ayuda de tablas establecidas con valores y criterios conllevan a cuantificar dichas características y obtener parámetros. Dichos parámetros son fundamentales para la clasificación geomecánica de los macizos rocosos.

#### **2.1.3.1 Recuperación de muestras de testigo**

La recuperación de los testigos de roca de la perforación diamantina de un sondaje se expresa en porcentaje respecto de la longitud total perforada, el cual indica la calidad del terreno y de la competencia general de la roca, ideal para la caracterización geotécnica. En caso se tenga una baja recuperación, indicaría una zona de falla (Cáceres y Lipa, 2019).

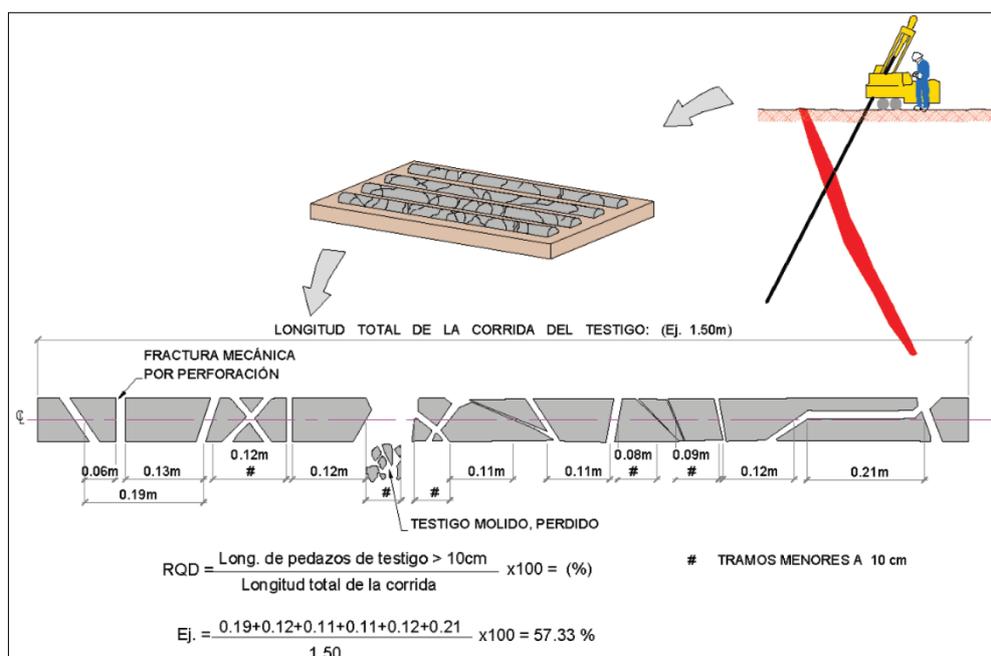
#### **2.1.3.2 Índice de calidad de roca (RQD)**

Es una medida del grado de fracturamiento del macizo rocoso, también está influenciado por la calidad de la perforación y de la manipulación de los testigos de roca. Se expresa en porcentaje, que es obtenido dividiendo la sumatoria de las longitudes de los testigos carentes de discontinuidades naturales mayores de 10 cm y la longitud total perforada. En la Tabla 2.8 se describe el RQD expresado en porcentaje y en la Figura 2.4 ilustra la evaluación del criterio geomecánico RQD en testigos o cores de roca.

**Tabla 2.8** Descripción del índice de calidad de roca (RQD)

RQD (%)	Descripción	Frecuencia de fracturas por metro lineal
0 - 25	Muy pobre	> 15
25 - 50	Pobre	15 - 8
50 - 75	Regular	8 - 5
75 - 90	Buena	5 - 1
90 - 100	Excelente	≤ 1

**Fuente:** Burt G. Look (2007), Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables.

**Figura 2.4** Evaluación del RQD en testigos de roca

**Fuente:** Osinergmin (2017), Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas.

### 2.1.3.3 Clasificación del macizo rocoso con el sistema RMR

El sistema *Rock Mass Rating* (RMR) fue desarrollado por Bieniawski, el cual clasifica a los macizos rocosos entre 0 a 100 puntos, siendo 0 calificado para roca mala y 100 calificado para roca muy buena, tal como se muestra en la Tabla 2.9. Las versiones más usadas son el RMR76 y el RMR89, ambas incorporan la valoración de parámetros como:

- (1) Resistencia de la roca intacta.

- (2) RQD.
- (3) Espaciamiento de discontinuidades.
- (4) Condición de discontinuidades.
- (5) Agua subterránea.

**Tabla 2.9** Interpretación de los valores de RMR

Descripción	RMR	Clase de macizo rocoso
Roca muy buena	81-100	I
Roca buena	61-80	II
Roca regular	41-60	III
Roca mala	21-40	IV
Roca muy mala	0-20	V

**Fuente:** Bieniawski (1989), Engineering rock mass classifications.

En las Figuras 2.5 y 2.6. se aprecian los parámetros y valores para la clasificación del RMR. Donde el puntaje total del RMR está definido por:

(1)+(2)+(3)+(4)+(5).

Parámetro		Rango de valores							
1	Resistencia del material de la roca intacta	Índice de resistencia bajo carga puntual	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Para este rango es preferible un ensayo de compresión simple		
		Resistencia a la compresión simple	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD Calidad del testigo de perforación	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación	20	17	13	8	3			
3	Espaciado entre discontinuidades	>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm			
	Puntuación	20	15	10	8	5			
4	Condiciones de las discontinuidades (Ver E)	Superficies muy rugosas	Superficies ligeramente rugosas	Superficies ligeramente rugosas	Superficies pulidas o relleno de falla < 5mm de espesor o separación < 1mm	Relleno de falla suave > 5mm de espesor o separación > 5mm			
		Discontinuas No hay separación Paredes intactas	Separación <1mm Paredes ligeramente meteorizadas	Separación <1mm Paredes altamente meteorizadas	Separación <1mm Paredes altamente meteorizadas	Separación 1-5mm Continuas	Continuas		
Puntuación		30	25	20	10	0			
5	Agua subterránea	Afluencia por 10 m de longitud del túnel (l/m)	Ninguna	<10	10-25	25-125	>125		
		(Presión de agua en las juntas) / ( $\sigma$ principal mayor)	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
	Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteando	Fluyendo			
	Puntuación	15	10	7	4	0			

**Figura 2.5** Parámetros de clasificación del macizo rocoso y sus valoraciones del sistema RMR89

**Fuente:** Bieniawski (1989), Engineering rock mass classifications.

Longitud de discontinuidad (persistencia) Puntuación	<1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	>20 m 0
Separación (apertura) Puntuación	Ninguna 6	<0.1 mm 5	0.1-1.0 mm 4	1-5 mm 1	>5 mm 0
Rugosidad Puntuación	Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente rugosa 3	Lisa 1	Pulida 0
Relleno (relleno de falla) Puntuación	Ninguna 6	Relleno duro<5mm 4	Relleno duro>5mm 2	Relleno blando<5mm 2	Relleno blando>5mm 0
Meteorización Puntuación	No meteorizada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 0

**Figura 2.6** Clasificación de las condiciones de discontinuidad del sistema RMR89

**Fuente:** Bieniawski (1989), Engineering rock mass classifications.

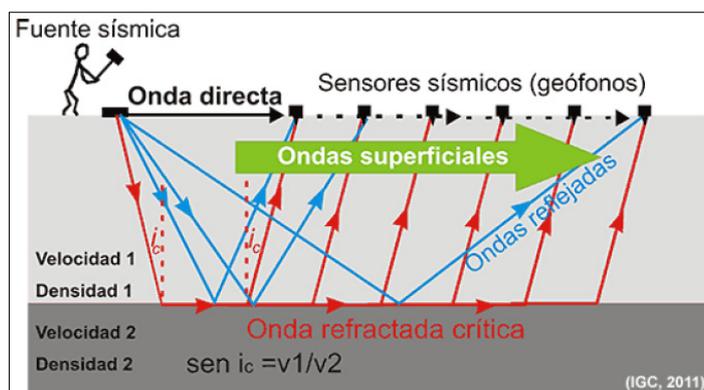
#### 2.1.4 Prospección geofísica

Ali, M. L (2016) en su tesis “Métodos de prospección geofísica aplicados a la investigación geotécnica para estudio del recrecimiento de una presa de relaves en el distrito de Oyolo”, menciona que la prospección geofísica se define como un método para deducir las condiciones del subsuelo a través de la observación de fenómenos físicos, bien sean naturales o artificiales, directa o indirectamente relacionados con la estructura geológica del subsuelo. Todas las técnicas están basadas en la detección de contrastes de las diferentes propiedades físicas de los materiales, esto es, si el contraste no existe los métodos geofísicos no funcionan. En ese sentido, uno de los métodos tradicionales en la prospección geofísica es el de refracción sísmica, el cual consiste en analizar los tiempos de viaje de ondas sísmicas inducidas en la superficie del subsuelo, mediante las leyes físicas de propagación de ondas. Como resultado se obtiene un perfil en profundidad de la distribución geométrica de las ondas sísmicas refractadas en las interfaces de los medios (refractores), con las correspondientes velocidades a la cual la onda sísmica se

propaga a través de dichos medios (Redpath, 1973). Por tanto, en el campo de las investigaciones geotécnicas, la refracción sísmica permite determinar la profundidad e inclinación de las distintas capas de estructuras geológicas que se superponen en el subsuelo.

#### 2.1.4.1 Ensayo de refracción sísmica

El principio de la prospección sísmica se basa en generar ondas sísmicas (ondas P) con repetidas activaciones de liberación de energía mediante una comba de 20 libras (fuente de energía), esta acción genera ondas que viajan a diferentes velocidades en el medio geológico, desde la fuente de energía hasta los sensores (geófonos). En las interfaces del medio geológico ocurre un proceso de disgregación de energía, por lo que una porción de energía continua su propagación hacia el interior de la tierra, y otra recorre por las interfaces de los estratos para luego regresar a la superficie registrándose en los dispositivos detectores (geófonos). Las ondas generadas por los golpes alcanzan a los geófonos después de un tiempo “t” y dependen también de la distancia “d” al martillo, además de la elasticidad como de la densidad del medio.



**Figura 2.7** Esquema del ensayo de refracción sísmica

**Fuente:** Ali, M. L. (2016), Métodos de prospección geofísica aplicados a la investigación geotécnica para estudio del recrecimiento de una presa de relaves en el distrito de Oyolo.

El impacto de la fuente sísmica sobre la superficie del terreno genera dos tipos de esfuerzos: ondas P (ondas planas) y ondas S (ondas de corte). Las ondas P viajan más rápido que las ondas S, en consecuencia, la primera llegada de ondas perturbadoras estará relacionado con las velocidades de las ondas P en varios estratos. En la Tabla 2.10 se tiene el rango de velocidades de las ondas P en varios tipos de suelos y rocas, sin embargo, las interpretaciones geofísicas deben siempre ser verificadas mediante resultados obtenidos en perforaciones.

**Tabla 2.10** Rango de velocidad de las ondas P en varios tipos de suelos y roca

<b>Tipos de suelo o roca</b>	<b>Velocidad de las ondas P (m/s)</b>
<b>Suelo</b>	
Arena, limo seco y suelo superior de grano fino	200 – 1000
Aluvial	500 – 2000
Arcillas compactas, grava y arena arcillosas densa	1000 – 2500
Loes	250 – 750
<b>Roca</b>	
Pizarra y esquisto	2500 – 5000
Arenisca	1500 – 5000
Granito	4000 – 6000
Caliza sana	5500 – 10000

**Fuente:** Burt G. Look (2007), Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables.

#### 2.1.4.2 Ensayo MASW

El ensayo de análisis de múltiples canales de ondas superficiales o mejor conocido como MASW, permite la obtención por medio del registro y posterior análisis de ondas superficiales, generadas por una fuente activa, la estimación del perfil de velocidad de ondas de corte de la zona de estudio. La técnica del ensayo presenta una serie de ventajas que lo ha llevado a ser uno de los principales métodos utilizados para clasificar la sísmica del suelo. La similitud con los equipos de la refracción sísmica permite proceder de manera similar,

lo que hace una técnica muy eficiente con una buena precisión, además de un bajo consumo de tiempo por ensayo y bajos costos operativos en comparación a otras técnicas sísmicas.

El método de MASW no es invasivo ni destructivo, y logra explorar profundidades mayores a los 30 m. dependiendo de la fuente sísmica y las condiciones de la zona de estudio. Asimismo, determina la distribución vertical de la velocidad de la onda S, basado en la dispersión de las ondas Rayleigh (un tipo de onda superficial). La velocidad de las ondas S con características del tipo de material, es decir, las rocas presentan velocidad de ondas S mayor que las ondas que se presentan en el suelo. Los materiales intemperizados, presentan velocidad de ondas S intermedia entre la roca y el suelo; los vacíos y cavidades formados por la naturaleza o por la mano del hombre (como minas abandonadas) presentan anomalías de velocidad de onda baja.

#### **2.1.5 Análisis de laboratorio de muestras de suelo**

Herrera, H. J y Castilla, G. J. (2012) en su libro “Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos”, mencionan que se realiza la toma de muestras con el fin de realizar ensayos y analíticas de laboratorio, es necesario que las muestras conserven algunas o todas las propiedades del terreno. Para ello debe de distinguirse entre muestras alteradas y muestras inalteradas. Las muestras recolectadas provienen de testigos de perforación, del ensayo de SPT y de calicatas. A continuación, se define los principales métodos de análisis de laboratorio para muestras de suelo:

### 2.1.5.1 Análisis granulométrico por tamizado

Braja, M. D. (2012) en su libro Fundamentos de ingeniería de cimentaciones menciona que el análisis granulométrico por tamizado se efectúa tomando una cantidad de suelo seco bien pulverizado donde se ejecuta pasar a través de un acumulo de mallas con aberturas cada vez más pequeñas que dispone una charola en su parte inferior. Luego se mide la cantidad de suelo retenido en cada malla y se determina el porcentaje acumulado del suelo que pasa a través de cada una. En Tabla 2.11 se tiene la lista de los números de mallas utilizados de manera convencional y el tamaño correspondiente a sus aberturas, estas mallas son de uso común para el análisis de suelos para fines de su clasificación.

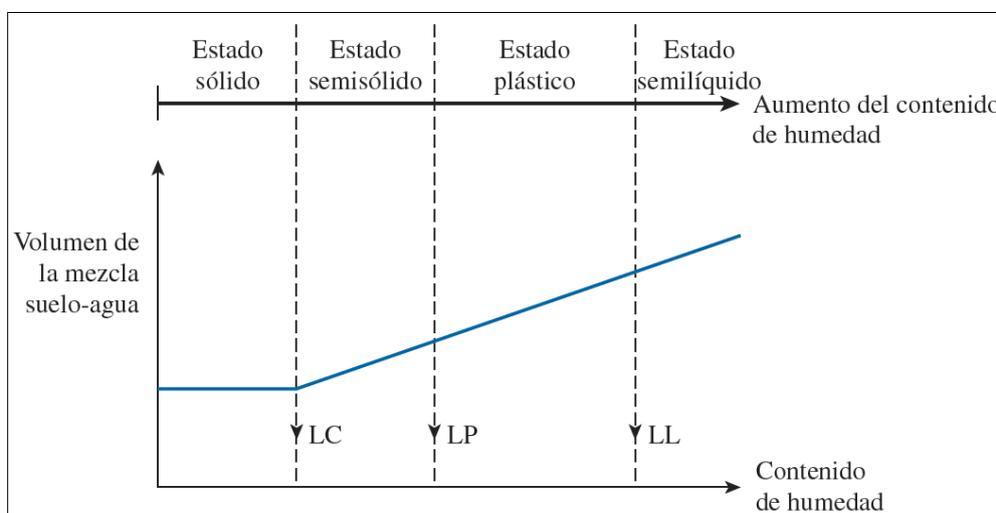
**Tabla 2.11** Tamaños de mallas estándar

Número de malla	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

**Fuente:** Braja, M. D. (2012), Fundamentos de ingeniería de cimentaciones.

### 2.1.5.2 Límites de Atterberg

Braja, M. D. (2012) en su libro Fundamentos de ingeniería de cimentaciones menciona que cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, puede fluir como semilíquido; el suelo gradualmente se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de humedad. Se define como límite líquido (LL) cuando el contenido de humedad en porcentaje del suelo corresponde al cambio de estado líquido a plástico. Del mismo modo el límite plástico (LP) se define cuando el contenido de humedad en porcentaje del suelo corresponde al cambio de estado plástico a semisólido, y finalmente se define límite de contracción (LC) cuando el contenido de humedad en porcentaje del suelo corresponde al cambio de estado semisólido a sólido. A estos límites se les conoce como límites de Atterberg. En la Figura 2.8 se ilustra los límites de Atterberg definidos como LC, LP, y LL.

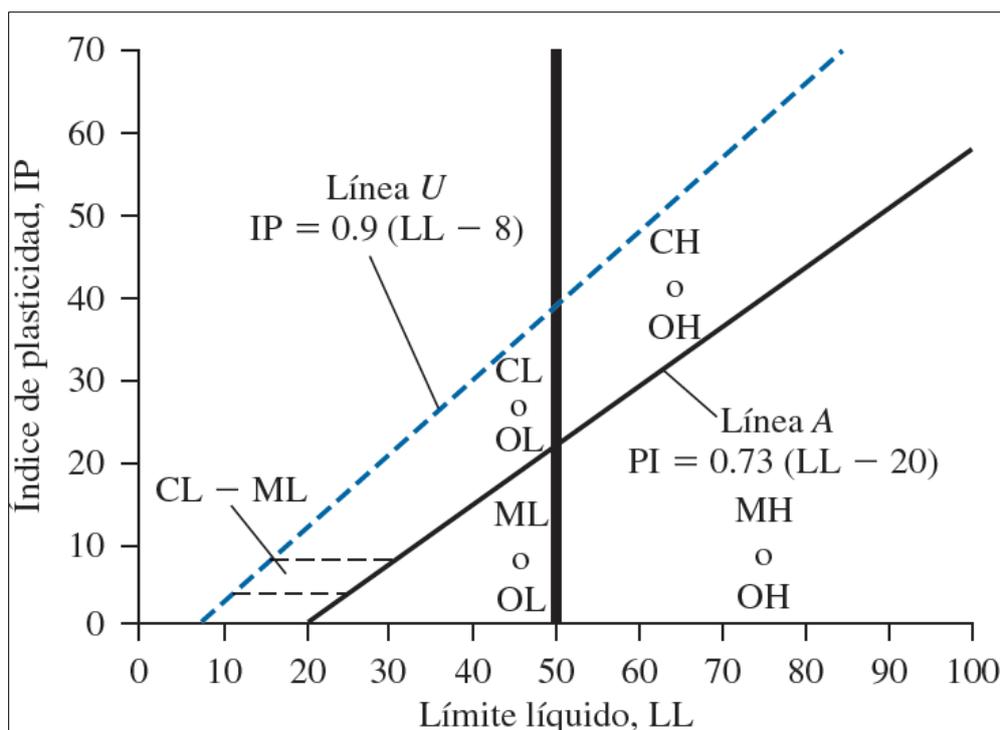


**Figura 2.8** Grafica para ilustrar los límites de Atterberg  
**Fuente:** Braja, M. D. (2012), Fundamentos de ingeniería de cimentaciones.

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como el índice de plasticidad (IP), es decir:  $IP = LL - LP$ .

### 2.1.5.3 Clasificación SUCS

Braja, M. D. (2012) en su libro Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, menciona que el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) en la actualidad es el sistema más utilizado en todo trabajo geotécnico. La clasificación es usada de acuerdo con la Tabla 2.7. La gráfica de plasticidad mostrada en la Figura 2.9, representa los valores del límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP) en un campo de coordenadas cartesianas para discriminar las arcillas y los limos de acuerdo con la relación entre dichos valores.



**Figura 2.9** Gráfica de la carta plasticidad para suelos finos

**Fuente:** Braja, M. D. (2012), Fundamentos de ingeniería de cimentaciones.

#### **2.1.5.4 Contenido de humedad**

Braja, M. D. (2012) en su libro Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, define al contenido de humedad como el contenido de agua de un suelo expresado como se muestra a continuación:

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Es decir, a una muestra de suelo se pesa para tener  $W_m$  luego se seca al horno y se vuelve a pesar para tener un peso  $W_s$ , finalmente  $W_w = W_m - W_s$ , con lo cual la humedad queda determinada.

#### **2.1.5.5 Ensayo de densidad**

La densidad natural del suelo con el método de cono de arena permite obtener la densidad y peso unitario del terreno, verificando los resultados de las compactaciones del suelo, y además compararlos con especificaciones técnicas en cuanto a la humedad, la densidad y el grado de compactación.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

A continuación, se definen los conceptos relacionados con la presente investigación.

### **Depósitos**

Acumulación de minerales de rocas o de mineral descartados en mina o en la planta metalúrgica, por no tener valor económico. Al ser contaminantes, se les aísla depositándolos y encapsulándolos sobre estructuras de ingeniería especialmente diseñadas.

**Estabilidad**

Estado y condición de una estructura o de una masa de material cuando puede soportar los esfuerzos aplicados durante un tiempo sin sufrir deformación o desplazamiento.

**Lugeon**

Unidad de medida de la permeabilidad del macizo rocoso definida en un ensayo de bombeo o presión, equivalente a la admisión de agua a razón de 1 litro por minuto y por metro de perforación a una presión de 10 bares.

**Sondeo**

Término genérico para designar cualquier tipo de perforación o excavación para investigar el subsuelo.

**Desmontera**

Acopios en superficie de minerales de baja ley o roca estéril.

**Falla**

Rotura de un cuerpo por la acción de un esfuerzo mayor que la resistencia del material que lo forma.

**Talud**

Superficie natural o artificial inclinada, formada sobre roca, suelo, residuo minero o cualquier otra litología.

## **2.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.3.1 Tipo y diseño de investigación**

El desarrollo del presente trabajo de investigación tiene percepción de la realidad de tipo objetiva, con razonamiento deductivo y contraste de hipótesis. La finalidad es comprobar la capacidad de ampliación para almacenar nuevos depósitos en la zona de los depósitos de relaves y desmonte de mina existentes, orientado al resultado del análisis de las características geológicas y geotécnicas de dicha zona. Por tanto, el enfoque del estudio es mixto por presentar características de investigación cuantitativas y cualitativas, con un alcance del tipo descriptivo, puesto que se analiza las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio a partir de las investigaciones de campo.

El diseño de la investigación es del tipo no experimental debido a que se basa en la observación de fenómenos tal como existe en la realidad, por lo cual, en su contexto natural como son los geológicos y geotécnicos, para después analizarlos.

### **2.3.2 Unidad de análisis**

La unidad de análisis de la presente investigación comprende el estudio geológico y geotécnico de la zona de los depósitos de relaves y desmonte de mina, para determinar su consistencia para almacenamiento de nuevos relaves y desmontes de la operación minera.

### **2.3.3 Etapas de la investigación**

La presente investigación se desarrollará en las siguientes etapas:

- Etapa inicial de gabinete: recopilación de información geológica de la zona de estudio (boletines del INGEMMET e informes de estudios relacionados a la presente investigación), elaboración de mapas preliminares, delimitación de la zona de estudio y planificación del trabajo de campo.
- Etapa de campo: ejecución del mapeo geológico del área de trabajo, perforación geotécnica, logeo de muestras de perforación, ejecución de ensayos in situ (ensayos de SPT y ensayos de permeabilidad), toma de muestras para laboratorio, prospección geofísica (método de refracción sísmica).
- Etapa de laboratorio: las muestras recolectadas son enviadas a laboratorio para análisis granulométrico, límites de Atterberg, contenido de humedad, ensayos de propiedades físicas.
- Etapa final de gabinete: elaboración de mapas geológicos definitivos con las investigaciones de campo, perfiles geológicos-geotécnicos, interpretación de las investigaciones de campo y laboratorio. Redacción integral del trabajo de investigación.

#### **2.3.4 Matriz de consistencia**

Título: Caracterización geológica y geotécnica de la zona de depósitos de relaves y desmonte mineros para determinar su consistencia de almacenamiento de nuevos depósitos. Sierra Central de Perú.

En la Tabla 2.12 se muestra la matriz de consistencia de la presente investigación:

**Tabla 2.12** Matriz de consistencia

<b>Problema</b>	- ¿Cuáles son las características geológicas y geotécnicas de la zona de depósitos de relaves y desmonte minero existentes que producirían inestabilidad del terreno e impedirían ampliar nuevos depósitos?	
<b>Objetivo</b>	- Analizar las características geológicas y geotécnicas de la zona de depósitos de relaves y desmonte minero, con el propósito de definir su consistencia para almacenar nuevos depósitos.	
<b>Hipótesis</b>	- Al efectuar la caracterización geológica y geotécnica de la zona de depósitos de relaves y desmonte minero, se determinará su consistencia para almacenar nuevos depósitos.	
<b>Variables</b>	<b>Dependiente</b>	- Determinación de la consistencia para almacenar nuevos depósitos.
	<b>Independiente</b>	- Caracterización geológica y geotécnica de depósitos de relaves y desmonte mineros.
<b>Indicadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registros de logueo de testigos de perforación a detalle, mediante clasificación SUCS para suelos y clasificación RMR para rocas.</li> <li>- Registros de ensayos de SPT en sondajes.</li> <li>- Registros de ensayos de permeabilidad en suelo y roca (tipo Lefranc o Lugeon).</li> <li>- Registros de medición de niveles de agua en los piezómetros instalados en los sondajes.</li> <li>- Resultados de prospección geofísica (método de refracción sísmica).</li> <li>- Resultados de laboratorio de muestras de suelos tomadas en campo.</li> </ul>	

**Fuente:** Elaboración propia.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO GEOLÓGICO**

#### **3.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

##### **3.1.1 Geomorfología**

El área de estudio presenta un típico valle glaciar en forma de “U”, con un relieve suave a moderado hacia las montañas bajas y medias y más escarpado en las zonas altas. El valle tiene una dirección de SE-NW y en algunos sectores principalmente en la cabecera del valle, presenta pendientes entre 15° y 25° cubierto por suelos coluviales y fluvioglaciares.

Las altiplanicies de la zona de estudio tienen altitudes que varían entre 4500 y 4900 m.s.n.m. con inclinaciones moderadas, corresponden a llanuras excavadas por la desglaciación formadas por acumulación de depósitos de deshielo.

Las montañas y laderas entre 4200 y 4700 m.s.n.m, presentan basamento rocoso conformado por filitas y volcánicos, con pendientes moderadas entre 25° y 40°. Fueron formadas por la intensa erosión diferencial del anticlinal. Las cumbres de las montañas alcanzan hasta 5200 m.s.n.m, presentan basamento

rocoso conformado por volcánicos del Grupo Mitu, con laderas escarpadas y pendientes mayores a 40°.

### **3.1.2 Litología**

Se describen las características estratigráficas y litológicas a nivel regional de la zona de estudio de la presente investigación:

**Grupo Excélsior (Pi-e).** Está conformado por las rocas más antiguas de la zona de estudio y corresponden al Paleozoico inferior. Forman el núcleo del domo de Yauli donde estructuralmente presenta anticlinales de orientación NW-SE con afloramientos rocosos que consiste en lutitas pizarrosas, filitas negruzcas y areniscas esquistosas finamente estratificadas. Esta secuencia presenta efectos de un metamorfismo regional y contiene numerosos lentes de cuarzo, los cuales son de mayor espesor en los núcleos de los anticlinales. Al sureste de San Cristóbal, las filitas se alternan con horizontes de mármol. Las rocas del Grupo Excélsior presentan los efectos del intenso plegamiento y fracturamiento ocasionado por la orogénesis Hercínica, además toda la secuencia posterior reposa en disconformidad. La serie superior del Paleozoico inferior mapeada a lo largo de la Cordillera Oriental corresponde al Grupo Excélsior, el mismo que al sur del país se denomina Grupo Cabanillas.

**Grupo Mitu (Ps-mi).** Se presenta en los alrededores de Morococha y en el domo de Yauli-San Cristóbal y corresponden en edad al Paleozoico superior. Está representado por un miembro de rocas clásticas rojizas de facies continental que consiste en areniscas, conglomerados, brecha volcánica y por un miembro superior de rocas volcánicas denominado “Volcánicos Catalina”.

La serie clástica yace discordante sobre las rocas del Grupo Excelsior y está cubierta por los Volcánicos Catalina, sin embargo, al sureste de Morococha hay una unidad arenosa y conglomerádica de color rojizo con espesor de 200 m que yace sobre dichos volcánicos, por lo que en esta zona corresponderían a una fase final de este Grupo.

Los Volcánicos Catalina afloran en el núcleo del anticlinal de Morococha, pero afloran de forma más amplia en los alrededores del domo de Yauli-San Cristóbal. Yacen generalmente sobre la serie clástica rojiza del miembro inferior y localmente reposan sobre las filitas del Grupo Excelsior. Consisten en derrames lávicos de dacita y andesita de color gris a verde, los cuales por meteorización toman un color marrón, además en las partes superiores existen brechas y aglomerados volcánicos.

El espesor del Grupo Mitu es muy variable debido a la distribución irregular de la serie clástica y volcánica, sin embargo, se ha estimado que los Volcánicos Catalina presentan 760 m de espesor, asimismo al oeste de San Cristóbal dichos volcánicos presentan espesores de hasta 800 m.

**Grupo Pucará (Jr-pu).** Las rocas de este grupo yacen sobre la serie clástica del Grupo Mitu o sobre los Volcánicos Catalina. En la región central del país, se designa con este nombre genérico a un conjunto de rocas calcáreas del Triásico superior – Jurásico inferior. El Grupo Pucará está expuesto en los alrededores de Morococha y Yauli, y más al sur constituye los núcleos de los anticlinales de Churria-Ruricocha y de Sultucocha, sobreyaciéndole la serie marina cretácica que constituye el Grupo Goyllarisquizga. El Grupo Pucará

consiste en una secuencia de calizas gris clara, blanquecinas, en capas delgadas y medianas que alternan ocasionalmente, con unidades de margas intercaladas con areniscas calcáreas, lutitas gris violáceas y rojizas y niveles de calizas dolomíticas. El espesor del Grupo Pucará es variable, estimándose en 431 m en el área de Morococha y de 300 m en los alrededores del domo de Yauli.

**Grupo Goyllarisquizga (Ki-g).** Es una secuencia de areniscas de color pardo amarillento con algunas intercalaciones de cuarcitas y lutitas grises y rojizas, que están representadas por las Formaciones Oyón, Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. Dicha secuencia está expuesta al norte, noreste y sureste de Morococha y en esa área destacan derrames o diques de diabasa y basalto. El espesor ha sido estimado por varios investigadores en aproximadamente 400 m.

Algunos afloramientos del Grupo Goyllarisquizga, se exponen en los flancos de los pliegues del lado oeste del anticlinal de Chumpe hasta cerca de la divisoria continental, consistiendo en areniscas cuarcíticas blanquecinas con intercalación de lutitas y limolitas rojizas en la base y con areniscas calcáreas y lutitas grises en el parte superior, con un espesor estimado en 250 m. Yace concordante sobre el Grupo Pucará y subyace a las calizas de la formación Chúlec.

**Formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha.** Estas formaciones sedimentarias, tienen características faunísticas y posiciones estratigráficas similares a las que presentan en la zona occidental de la cuenca del Cretáceo, sin embargo, el grosor es más reducido y con ligeras variaciones litológicas. Estas secuencias calcáreas están expuestas formando parte de las estructuras

del norte de Morococha del suroeste del anticlinal de Morococha y del oeste del anticlinal de Chumpe, con extensión de afloramientos hasta la divisoria continental del noroeste de Ticlio.

La Formación Chúlec consiste en calizas grises con capas medianas intercaladas con capas delgadas de 5 a 30 cm, y con capas gruesas ocasionalmente intercaladas con calizas margosas y margas de color pardo grisáceo. Se estima un espesor de 200 m.

La Formación Pariatambo consiste en calizas y margas bituminosas intercaladas con calizas oscuras en capas delgadas con tendencia a desprenderse en forma de lajas, sobreyace e infreyace concordante a las Formaciones Chúlec y Jumasha, respectivamente, contrastando por su color negruzco, y se estima un espesor de 80 m.

La Formación Jumasha consiste en capas medianas a gruesas intercaladas ocasionalmente por capas de calizas margosas, lutitas y calizas dolomíticas, sin presencia de fósiles. En el tope, las calizas Jumasha infrayacen discordante a las capas rojas de la formación Casapalca.

**Rocas intrusivas.** Se encuentran a lo largo del anticlinal de Yauli donde intruyen stocks de monzonita cuarcífera, diques de andesita y diabasa.

**Depósitos cuaternarios.** En la zona de estudio se observan depósitos glaciares (Q-g) de morrenas antiguas y recientes ubicadas en las cabeceras de los valles glaciares y cubriendo el fondo.

Los depósitos fluvioglaciares (Q-fg), contienen los materiales acarreados por los ríos de ambas vertientes de la zona andina, esto guarda relación con el

proceso erosivo activado por el levantamiento andino y las etapas de glaciación. Como consecuencia, también se han formado terrazas de material aluvional en las márgenes de los ríos, las más recientes junto al cauce y en algunos casos se han producido inundaciones que han permitido la formación de depósitos de tipo bofedal.

Los depósitos aluviales (Qa-al), están formados por gravas y arenas con cantos rodados que se encuentran en los cursos medio e inferior de los ríos que bajan hacia la costa, creando terrazas aluvionales en las márgenes de los cauces.

Los depósitos coluviales (Q-cl), se encuentran al pie de las escarpas de las laderas de los cerros como material de escombros constituidos por gravas y bloques sub-angulosos con matriz arenosa y limosa.

### **3.1.3 Geología estructural**

En la zona de estudio a nivel regional, se observa plegamiento y fracturamiento del basamento rocoso.

**Plegamiento.** Se observan plegamientos en el flanco occidental del domo de Yauli cuya extensión longitudinal es de 35 km desde San Cristóbal hasta Morococha y de 10 km en su extensión transversal de rumbo N40°W. La forma del domo es asimétrica, buzando su flanco este entre 30° y 40° y su flanco oeste entre 60° y 80°. Entre los anticlinales de mayor importancia, se encuentran los denominados Chumpe y Yauli cuyos ejes tienen rumbos que varían entre N30°W y N40°W. Respecto al anticlinal Chumpe que se ubica en el extremo oeste, presenta buzamientos de su flanco occidental de 55° al SW y su flanco oriental de 30° al NE; el núcleo del anticlinal se encuentra formado por rocas

del Grupo Excélsior, el flanco occidental se compone por calizas del Grupo Pucará y areniscas del Grupo Goyllarisquizga y en el flanco oriental se extienden las rocas del Grupo Mitu por varios kilómetros y sobre éstas las del Grupo Pucará.

En la región se han reconocido dos periodos principales de tectónica. El primero, acontecido en el Pérmico inferior denominada Tectónica de la Fase Tardihercínica que ha plegado de manera intensa las filitas del Grupo Excélsior. El segundo periodo, acontecido en el Cretácico superior al final de la Tectónica del Ciclo Andino, fueron plegadas principalmente las rocas mesozoicas de fines del Cretácico, comprendiendo: La Fase Inca en el Eoceno-Paleoceno, siendo el más intenso y le siguió un período de actividad ígnea, y finalmente le afectó el tectonismo de la Fase Quechua en el Oligoceno-mioceno.

**Fracturamiento.** Este evento es en gran medida el resultado de las fuerzas compresivas y de las tensionales resultantes, que originaron las diferentes fases tectónicas a partir del Cretácico que incluyen las fuerzas derivadas de las intrusiones ígneas que formaron el domo de Yauli. Cabe la probabilidad que a fines del Cretácico el plegamiento peruano de fuerzas compresivas NE-SW, formaron el anticlinal de Chumpe, y a medida que aumentaban dichas fuerzas durante el plegamiento “Incaico”, los estratos inferiores de calizas se desplazaron por sobrecurrimiento sobre los volcánicos subyacentes, con lo que formaron repetidas fallas inversas acompañadas de pliegues de arrastre. Las fuerzas tensionales al finalizar las compresivas originan la formación de

fracturas longitudinales paralelas al eje del anticlinal Chumpe, las cuales posteriormente fueron rellenadas por diques que ocurren en el núcleo de dicho anticlinal. El anticlinal Chumpe durante el plegamiento “Quechua”, habría sido afectado también por fuerzas compresivas producidas por la intrusión de stocks de monzonita cuarcífera causando las fracturas de tensión posteriormente rellenadas por fluidos mineralizantes, originando las estructuras mineralizadas actuales.

## 3.2 GEOLOGÍA LOCAL

### 3.2.1 Geomorfología

La zona de estudio está caracterizada principalmente por presentar cerros con laderas de pendiente media a abrupta y valles glaciares de fondo amplio con relleno de depósitos morrénicos, sus altitudes varían aproximadamente de 4400 a 5000 m.s.n.m. En esta zona se han reconocido dos geoformas:

- **Valle glaciar.** La quebrada Ayamachay es parte de un valle colgante de modelado glaciar, presenta las siguientes características: orientación N50°W, longitud de 8 km aproximadamente y flancos laterales con 20° a 35° de inclinación. Aguas abajo, el flanco derecho de la quebrada es parte del cerro Lachac Huajanan y el flanco izquierdo corresponde a los cerros Magistral y Rangra. La quebrada Ayamachay es tributaria del río Yauli, que a su vez drena en el río Mantaro.
- **Ladera.** El área de estudio se encuentra en el flanco derecho de la quebrada Ayamachay que corresponde a una ladera uniforme con pendientes de 20° a 35°, en las partes más abruptas pueden llegar a los 45° de inclinación. La

cima de la ladera Gavilán, representa una forma de colina para la zona deprimida por el lado del tajo Gavilán para después continuar con una pendiente alta.

Hacia el lado opuesto de la cima de la ladera Gavilán, en la parte baja de la ladera de Gavilán, se encuentra el tajo Gavilán, que aprovecha la pendiente de la depresión del terreno. Los terrenos de este tajo han sido seleccionados para la acumulación de nuevos residuos de depósitos de relave. La base del depósito de relave se apoya sobre el desmonte de mina existente al pie de la ladera en el margen derecho de la quebrada Ayamachay. La pendiente de la ladera, promedia varía entre los 25° a 30° de inclinación.

### **3.2.2 Litología**

Localmente, en la unidad de análisis se encuentran tres unidades litoestratigráficas, que a continuación se describen desde la más antigua hasta la más reciente:

**Grupo Mitu (Ps-mi).** Los afloramientos de esta unidad estratigráfica se encuentran en el lado noreste del tajo Gavilán, a lado y en contacto con el Grupo Pucará con orientación NW-SE, coincidente con la falla regional que pasa por el centro del tajo Gavilán de forma longitudinal. Además, en la zona de contacto que coincide con la falla regional, existe una zona de transición. El grupo Mitu, comprende principalmente una secuencia volcánica compuesta por aglomerados volcánicos, lavas de composición andesítica a dacítica de textura porfirítica y tobas, en donde la secuencia superior corresponde a los Volcánicos Catalina. Generalmente tiene un color de marrón o rojo violáceo a gris.

Respecto al grupo de vetas que están emplazados dentro de esta unidad litológica, ocurren en sistemas estructurales cuya orientación siguen en superficie los halos de alteración argílica y sericita. Estas alteraciones, afloran como manchas de color blanquecino a beige. La intensidad y extensión lateral de los halos de alteración, depende frecuentemente de la proporcionalidad de las vetas aflorantes, a mayor cantidad de estructuras mineralizadas, mayor extensión e intensidad de alteración.

El grupo Mitu se depositó en condiciones continentales generando en su exposición una superficie denudada sobre la cual se depositaron las secuencias calcáreas del Grupo Pucará, intercaladas en distancias de 15 a 30 m aproximadamente con andesitas porfiríticas en tobas arenosas y con dolomías brechadas con clastos subangulosos de matriz arcillosa y tramos de panizo producto de la falla regional. Se observa además sobre esta litología, predominancia de la alteración argílica sobre la cloritización, así como escasa mineralización.

**Grupo Pucará (Jr-pu).** Este grupo está compuesto principalmente por rocas calcáreas que albergan estructuras mineralizadas como vetas y mantos de reemplazamiento polimetálico. Los estratos presentan un rumbo promedio de N30°W con buzamientos que varían entre 40° y 70° SW. En el área de estudio, se identificaron las tres formaciones geológicas que conforman este grupo.

- **Formación Chambará (Trs-c).** Está compuesta por dolomías con pseudomorfos de cuarzo y algunos nódulos de chert; el espesor de los estratos varía de 0.20 a 1.20 m. Presenta intercalaciones de lutitas

bituminosas, brechas calcáreas con clastos subangulosos de dolomías y matriz calcárea, algunos tramos de estas brechas se encuentran mineralizadas. El afloramiento rocoso visible se encuentra hacia el lado sur del depósito de desmonte, este afloramiento está afectado por la alteración hidrotermal.

- **Formación Aramachay (Ji-a).** Está compuesta por dolomías y calizas silicificadas con pequeños pseudomorfos de cuarzo y abundantes nódulos de chert alongados; el espesor de los estratos varia de 0.10 a 0.40 m. En algunos niveles, la caliza intercala con limolita de capas delgadas. El afloramiento rocoso visible se encuentra hacia el lado noroeste del depósito de desmonte.
- **Formación Condorsinga (Ji-c).** Esta formación es casi exclusivamente calcárea. Está compuesto por dolomías con intercalaciones de calizas poco silicificadas y venillas de calcita; el espesor de los estratos varía de 0.40 a 1.20 m. Entre esta formación y la anterior, se encuentra el Basalto Montero de textura amigdaloides y brechada con clastos de dolomías y caliza, correspondiendo aparentemente a una inyección posterior de magma basáltico. El afloramiento rocoso visible se encuentra hacia el lado suroeste del depósito de desmonte, cruzando el fondo de la quebrada. El fondo de la quebrada está cubierto por otros depósitos de desmonte de mina, depósitos glaciares y lacustres.

**Depósitos Cuaternarios.** Estos depósitos, constituyen el material de cobertura generalmente no consolidado y distribuidos irregularmente. En esta zona se encuentran principalmente:

- **Depósito glaciar (Q-gl).** Este depósito se encuentra a lo largo del fondo de la quebrada Ayamachay y hacia los lados en las laderas. El depósito está constituido por grava bien graduada con limo y arena (GW-GM), medianamente densa, ligeramente húmeda, finos de plasticidad media a baja, en su mayoría son cantos calcáreos angulosos a subangulosos; el espesor del depósito varía desde 2 m en laderas y hasta 11 m en el fondo del valle.
- **Depósito lacustre (Q-lc).** Parte del fondo de la quebrada Ayamachay, está relleno con sedimentos finos sobreyacidos por una capa de suelo orgánico (turba). Estos sedimentos finos pueden estar asociados a un ambiente lacustre. Este depósito presenta dos unidades principales: La unidad superior como una capa de turba con limo orgánico de 1 a 6 m de espesor; y la unidad inferior compuesta por una secuencia de capas de arena limosa, arcilla plástica y limo arenoso, con lentes de grava limosa. En la base de la secuencia de sedimentos finos está presente una capa de grava arcillosa, que puede corresponder a materiales de origen glacial. El espesor de este depósito varía hacia los lados con menor espesor y en el fondo de la quebrada puede superar los 20 m. El depósito lacustre está cubierto parcialmente por materiales antrópicos.
- **Depósito coluvial (Q-cv).** Se encuentra al pie de las laderas del cerro Panteón Pata, distribuido sobre el Grupo Mitu. Este depósito es producto de la acumulación de los materiales transportados por efectos de la gravedad. Está constituido por grava arenosa con algunos bloques

angulosos, densa a medianamente densa, seco a ligeramente húmedo y su espesor varía entre 0.5 y 3 m.

- **Depósito de desmonte de mina (Q-dmt1).** Consiste en grava arenosa y grava mal graduada con limo y arena, suelta a medianamente densa, seca, gris claro a oscuro y pardo. Presenta cantos y bloques de distintos tipos de litología como calizas, dolomías, areniscas, limolitas, cuarcitas, etc. El desmonte provino de la mina subterránea Carahuacra y del tajo Gavilán. Se encuentra acumulado en el depósito de desmonte Huaripampa y extendido a otras zonas del área. Su espesor varía en 55 a 75 m aproximadamente en la zona del depósito de desmonte Huaripampa, el cual fue determinado mediante perforaciones diamantinas.
- **Depósito de desmonte de corte de carretera (Q-dmt2).** Consiste en grava bien gradada con limo y arena, suelta a densa, seca, marrón. Se encuentra en los bordes de las carreteras. Su espesor es menor a 2 m.
- **Depósito de desmonte de suelo orgánico (Q-dmt3).** Consiste en arena limosa y limo orgánico de baja plasticidad, medianamente densa, muy húmeda, marrón oscuro; contiene también gravas aisladas. En la parte superior presenta una capa de turba menor a 1 m. Se encuentra al fondo de la quebrada Ayamachay y al pie del depósito de desmonte Huaripampa. Su espesor es máximo es de 6 m aproximadamente, el cual fue determinado mediante perforaciones diamantinas y ensayos de refracción sísmica.
- **Depósito de desmonte de mina antiguo (Q-dmt4).** Consiste en grava arcillosa con arena, medianamente densa a densa, húmeda, gris oscuro a marrón. Presenta finos de baja plasticidad y bolonerías de tamaño máximo

de 0.35 m. En la parte superior presenta una capa de turba menor a 0.50 m. Se encuentra, aguas abajo, al margen izquierdo de la quebrada Ayamachay. Su espesor es estimado en 12 m aproximadamente.

### **3.2.3 Geología estructural**

La denominada falla Ticlio, es una estructura regional importante que atraviesa el área de estudio y está cubierta por el depósito de desmonte Huaripampa. Esta estructura es del tipo de falla normal, está próxima a la zona de contacto entre el Grupo Mitu y el Grupo Pucará. Presenta una dirección promedio de  $N20^{\circ}W$  con un buzamiento promedio de  $72^{\circ}SW$ ; su ancho varía de 2 a 6 m. Esta falla ha ocasionado que las rocas de ambos lados estén trituradas, formando brechas tectónicas con clastos polimícticos y afectadas moderadamente por la alteración hidrotermal.

En el afloramiento rocoso del Grupo Mitu, se observan fallas locales en dirección NE a SW, asimismo sistemas de fracturamiento con ángulos de buzamiento mayores a  $60^{\circ}$  en la dirección hacia el NE, sur y oeste. Al revisar la información existente de las orientaciones de las discontinuidades obtenidas en los afloramientos rocosos aledaños al área de estudio, se identificó tres sistemas principales, cuyas orientaciones promedio son:  $N31^{\circ}W/61^{\circ}SW$  (estratificación),  $N52^{\circ}E/77^{\circ}NW$  y  $N55^{\circ}E/78^{\circ}SE$ . La primera de ellas corresponde a la estratificación de las rocas del Grupo Pucará. Los dos últimos sistemas son casi transversales a la estratificación y algunas estructuras representan a las fallas locales.

## **CAPÍTULO IV**

### **INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

En el presente capítulo se describe la secuencia de trabajos ejecutados para la presente investigación, que involucra fundamentalmente la revisión detallada de la caracterización geológica del área de estudio y el desarrollo de cada etapa de investigación, hasta la obtención de los resultados finales y del informe final.

#### **4.1 INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS**

Las actividades desarrolladas en las investigaciones geotécnicas fueron la ejecución de perforaciones diamantina, registro de ensayos de SPT, ensayos de permeabilidad, instalación de piezómetros, registro de nivel de agua, logueo geotécnico y registro fotográfico.

##### **4.1.1 Perforaciones de sondeos geotécnicas**

En la presente investigación desarrollada en la unidad de análisis de la zona de depósito de relaves y desmonte se ejecutaron catorce (14) perforaciones diamantinas, con profundidades que varían entre 35.00 m y 140.00 m.

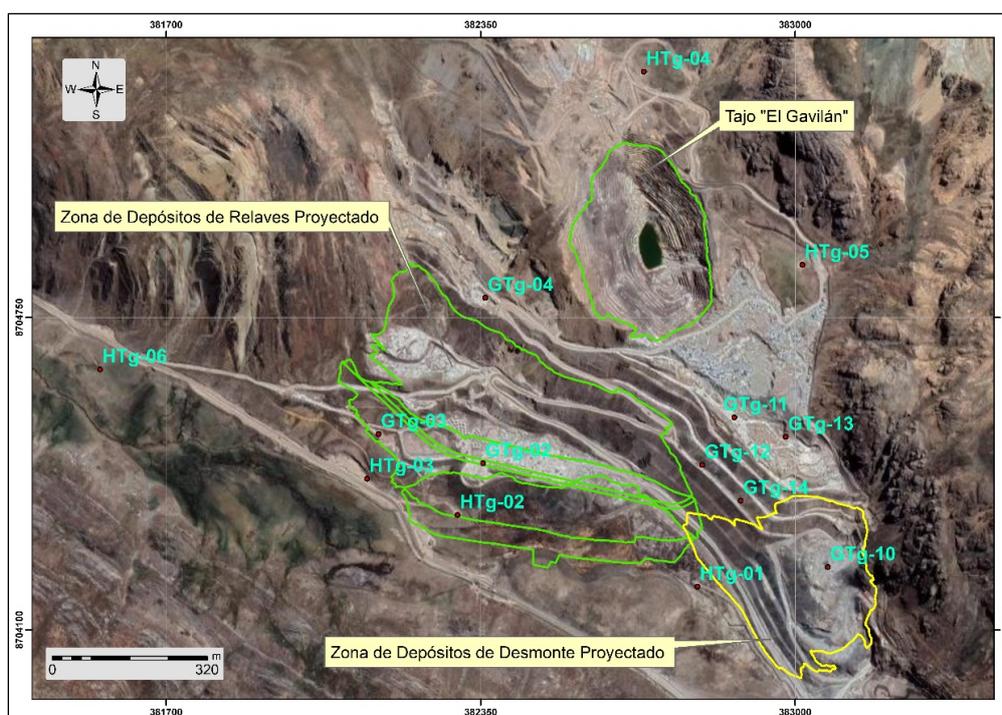
En la Tabla 4.1, se muestra la ubicación y distribución de los sondajes en la zona de estudio y se detalla las perforaciones ejecutadas. En la distribución de

los sondajes se consideró el propósito geotécnico e hidrogeológico, por lo que se realizaron ocho (08) sondajes para fines geotécnicos y seis (06) para fines hidrogeológicos.

**Tabla 4.1** Perforaciones de sondajes ejecutados

Sondaje	Coordenadas UTM WGS-84			Longitud perforada (m)	Objetivo de la perforación
	Este (m)	Norte (m)	Cota (msnm)		
GTg-02	382354.99	8704446.72	4504.82	50.00	Geotécnico
GTg-03	382138.92	8704507.19	4499.41	47.00	Geotécnico
GTg-04	382359.94	8704791.23	4597.95	60.80	Geotécnico
GTg-10	383067.37	8704230.63	4576.65	52.20	Geotécnico
GTg-11	382874.68	8704542.25	4616.08	90.30	Geotécnico
GTg-12	382807.93	8704443.22	4564.55	35.00	Geotécnico
GTg-13	382980.57	8704501.82	4610.66	36.40	Geotécnico
GTg-14	382887.30	8704368.99	4564.88	71.70	Geotécnico
HTg-01	382798.00	8704190.00	4496.00	100.10	Hidrogeológico
HTg-02	382302.25	8704339.11	4478.43	100.00	Hidrogeológico
HTg-03	382115.34	8704414.41	4475.00	100.00	Hidrogeológico
HTg-04	382687.25	8705261.65	4725.99	140.00	Hidrogeológico
HTg-05	383014.97	8704859.58	4648.42	120.00	Hidrogeológico
HTg-06	381563.61	8704642.16	4462.89	50.10	Hidrogeológico

**Fuente:** Elaboración propia. Nota: La inclinación de todos los sondajes es  $-90^\circ$  (perforaciones verticales).



**Figura 4.1** Ubicación de las perforaciones geotécnicas-hidrogeológicas

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.2 Ensayos de penetración estándar (SPT)

En la ejecución de ensayos de penetración se realizaron sesenta (60) ensayos en nueve (09) sondajes de perforación.

En la Tabla 4.2, se muestra el resumen de los ensayos de SPT ejecutados en los sondajes. El objetivo del ensayo fue para la caracterización de la zona de cimentación en los primeros 20 metros de cada sondaje, siendo el intervalo entre cada ensayo de 2.5 a 5.0 metros. No obstante, para profundidades superiores a 20 metros el intervalo está entre 5.0 a 8.0 metros.

El ensayo de SPT tal como se ha definido, consiste en hincar en el fondo del sondaje con un muestreador de tubo partido utilizando un dispositivo mecánico acoplado a la máquina de perforación, el cual deja caer por caída libre el martillo de 63.50 kg desde una altura de 76.20 cm, sobre la cabeza de golpeo de las barras acopladas al muestreador. El tramo de ensayo es de 45 cm y se toma lectura de la cantidad de golpes por cada 15 cm de penetración. La muestra obtenida en el tubo de caña partida fue caracterizada mediante una descripción visual de suelo de acuerdo con la norma ASTM D-2488, posteriormente la muestra fue embalada con su etiqueta y sellada en bolsa de plástico para su análisis en laboratorio.

**Tabla 4.2** Ensayos de SPT ejecutados en los sondajes

Sondaje	Número de ensayos de SPT	Ubicación del sondaje
GTg-02	7	Zona de cimentación para el depósito de relave filtrado.
GTg-03	6	Zona de cimentación para el depósito de relave filtrado.
GTg-04	1	Zona de cimentación para el depósito de relave filtrado.

Sondaje	Número de ensayos de SPT	Ubicación del sondaje
HTg-01	10	Zona de cimentación para el depósito de desmonte.
HTg-02	13	Zona de cimentación para el depósito de relave filtrado.
HTg-03	8	Zona de cimentación para el depósito de relave filtrado.
HTg-04	1	Al noreste del tajo.
HTg-05	5	Al noreste del tajo.
HTg-06	9	Zona de la quebrada Huaripampa (sin ninguna estructura).

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.3 Ensayos de permeabilidad

En el presente estudio, se ejecutaron en las perforaciones diamantinas ensayos hidrogeológicos de tipo Lefranc de carga variable y de carga constante, Lugeon y por recuperación de pozo. Dichos ensayos se realizaron para caracterizar la conductividad hidráulica (permeabilidad) en diferentes materiales de suelo y roca. Los ensayos se ejecutaron de manera progresiva al avance de la perforación.

El registro de ensayos de permeabilidad tipo Lefranc de carga variable y constante se realizaron a diferentes profundidades con tramos de ensayo que varían desde 0.20 a 0.30 m, de acuerdo con las condiciones del terreno, siendo un total de ochenta y tres (83) ensayos distribuidos en ocho (08) sondajes de objetivo geotécnico. Ver resumen en la Tabla 4.3.

Del mismo modo, en los sondajes de objetivo hidrogeológico, se registraron ensayos de tipo Lefranc, tipo Lugeon y por recuperación de pozo, los cuales fueron ejecutados a diferentes profundidades y en tramos de ensayo que varían

desde 1.0 a 6.0 m, siendo un total de setenta (70) ensayos ejecutados. Ver resumen en la Tabla 4.4.

Los registros de los ensayos de permeabilidad se encuentran en el Anexo 7.

**Tabla 4.3** Ensayos de permeabilidad en los sondajes geotécnicos

<b>Sondajes geotécnicos</b>	<b>Tipo de ensayo de permeabilidad</b>	<b>Número de ensayos</b>
GTg-02	Lefranc	11
GTg-03	Lefranc	10
GTg-04	Lefranc	6
GTg-10	Lefranc	7
GTg-11	Lefranc	11
GTg-12	Lefranc	11
GTg-13	Lefranc	5
GTg-14	Lefranc	22

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.4** Ensayos de permeabilidad en los sondajes hidrogeológicos

<b>Sondajes hidrogeológicos</b>	<b>Tipo de ensayo de permeabilidad</b>	<b>Número de ensayos</b>
HTg-01	Lefranc	10
HTg-02	Lefranc	13
HTg-03	Lefranc	9
	Recuperación de pozo	4
HTg-04	Lefranc	15
	Lugeon	2
HTg-05	Lefranc	10
	Lugeon	1
HTg-06	Recuperación de pozo	2
	Lugeon	1
	Recuperación de pozo	3

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.4 Instalación de piezómetros tipo tubo abierto o Casagrande

En las cavidades o espacios abiertos por los sondajes de perforación, se realizó la instalación de piezómetros de tipo Casagrande simple y en algunos sondajes la instalación fue multinivel, es decir, dos piezómetros en un sondaje. La

instalación de los piezómetros se realizó en los catorce (14) sondajes con fines geotécnicos e hidrogeológicos.

La instalación de los piezómetros se ejecutó de acuerdo con los procedimientos establecidos en normas, guías y manuales, tales como ASTM D-5092, ASTM D-587, ASTM D-1785. A continuación, se describe el desarrollo del proceso de instalación los piezómetros:

- Cuando culmina la perforación del sondaje, se procede con el lavado del pozo en un tiempo de 1 hora, midiendo luego el nivel de agua con una sonda eléctrica.
- Se coloca gravilla de cuarzo en el fondo del pozo, con el fin de asentar la tubería piezométrica, y de esa manera evitar roturas en la punta.
- En seguida se ingresa la tubería piezométrica ranurada, que simultáneamente debe de estar cubierta de geotextil para evitar la filtración de finos. La longitud de la tubería ranurada es definida según los estratos del subsuelo.
- Luego a la tubería ranurada, se conecta la tubería sin ranuras (tubos ciegos) hasta completar toda la columna del pozo.
- En seguida, se introduce gravilla en el espacio anular hasta cubrir por completo el tramo de tubería ranurada en el sondaje. Adicionando gravilla por encima del tramo ranurado, se asegura que cumpla la función de filtro.
- Posteriormente, se coloca por encima de la gravilla el sello de bentonita granular hasta un cierto tramo, para después cubrir el resto del espacio anular con lechada de cemento.

- Concluido el proceso de instalación, se procede a la construcción de un dado de concreto, con el fin de dar protección del al piezómetro.

En la Tabla 4.5, se muestra la posición de los piezómetros y la cantidad por cada sondaje.

**Tabla 4.5** Piezómetros tipo Casagrande en los sondajes ejecutados

Sondaje	Prof. de perforación (m)	Prof. de piezómetro A (m)	Prof. de piezómetro B (m)	Comentarios
GTg-02	50.00	49.76	28.60	Diámetro de piezómetro A, Ø = 1 ½"
GTg-03	47.00	46.40	-	Diámetro de piezómetro B, Ø = 1" Diámetro de piezómetro A, Ø = 2"
GTg-04	60.80	59.75	-	Diámetro de piezómetro A, Ø = 1 ½"
GTg-10	52.20	45.38	-	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2"
GTg-11	90.30	84.30	58.19	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2" Diámetro de piezómetro B, Ø = 1"
GTg-12	35.00	34.67	-	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2"
GTg-13	36.40	33.17	-	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2"
GTg-14	71.70	70.50	-	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2"
HTg-01	100.10	98.80	20.90	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2" Diámetro de piezómetro B, Ø = 1"
HTg-02	100.00	97.94	26.83	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2" Diámetro de piezómetro B, Ø = 1"
HTg-03	100.00	97.92	14.96	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2" Diámetro de piezómetro B, Ø = 1"

Sondaje	Prof. de perforación (m)	Prof. de piezómetro A (m)	Prof. de piezómetro B (m)	Comentarios
HTg-04	140.00	138.57	-	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2"
HTg-05	120.00	119.46	16.88	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2" Diámetro de piezómetro B, Ø = 1"
HTg-06	50.10	47.70	17.50	Diámetro de piezómetro A, Ø = 2" Diámetro de piezómetro B, Ø = 1"

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.5 Logueo geotécnico

La ejecución del logueo geotécnico, se realizó en los catorce (14) sondeos en simultáneo con la perforación. Para el registro del logueo, se utilizaron dos tipos de formatos, uno para suelo y el otro para roca, dichos registros fueron realizados a mano y posteriormente fueron digitalizados en gabinete.

En el formato de logueo geotécnico para suelo, se usó la nomenclatura según la clasificación SUCS para la descripción visual de suelos. En cambio, en el formato de logueo geotécnico de roca, su registro se efectuó mediante la clasificación geomecánica de RMR.

Posteriormente, en conjunto con ambos tipos de registros, se realizó una zonificación geotécnica consistente en agrupar al suelo según el tipo de material, composición, tamaño granular, consistencia/compacidad y plasticidad; y agrupar a la roca según el tipo de litología, resistencia, grado de fracturamiento, alteración y meteorización.

Finalmente, con la información de los registros de logueo geotécnico, zonificación geotécnica, resultados de investigaciones in situ y laboratorio, se ha generado los registros geológicos-geotécnicos mediante software LogPlot, ver el detalle para cada uno de los sondajes en el Anexo 5.

#### 4.1.6 Registro fotográfico

El registro fotográfico de los testigos de perforación se realizó mediante fotografía digital con la finalidad de guardar la información de las muestras inalteradas o con menor perturbación. El fotografiado de las cajas de testigo, se realizó al culminar la perforación del sondaje, considerando la luz natural, temperatura y nubosidad. Las fotos se tomaron colocando un flexo métrico, para indicar la escala de la muestra en sentido de izquierda a derecha, a la vez se ha rotulado en la parte superior la información de profundidades de las cajas. Las fotografías de las bajas de testigo se encuentran en el Anexo 10.



**Figura 4.2** Vista de fotografía de las cajas conteniendo muestras de perforación diamantina  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.1.7 Prospección geofísica**

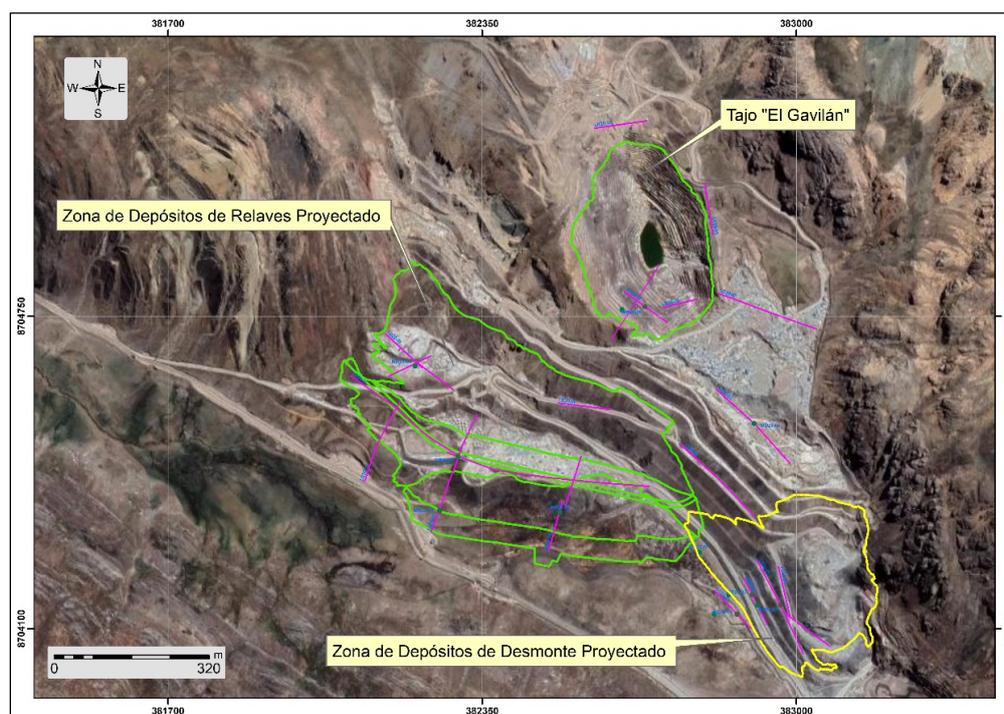
La ejecución del trabajo de campo de la prospección geofísica se realizó utilizando los ensayos de refracción sísmica y sondajes MASW, para lo cual primero se definieron los puntos y el eje de la línea sísmica, luego se procedió a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos, el espaciamiento entre geófonos fue definido en función de la profundidad de exploración requerida y del área disponible en la zona de estudio. En general, la profundidad de investigación está en relación de 1/3 a 1/5 de la longitud de la línea geofísica en superficie. El equipo utilizado presenta veinticuatro (24) geófonos separados cada 5 metros, alcanzando una longitud de total máxima de 120 metros, donde según sea el caso la topografía lo permita y la fuente de impacto sea lo suficientemente fuerte para adquirir una buena señal. La fuente de energía usada para generar las ondas sísmicas consistió en una comba de 20 libras, logrando alcanzar registros de ondas con la adecuada nitidez para las longitudes de líneas ejecutadas.

En la zona de depósitos de relaves, se ejecutaron 22 líneas de refracción sísmica con geófonos separados 3, 4 y 4.5 metros, alcanzando líneas de refracción de 72, 96 y 108 metros respectivamente. Dichas líneas permitieron explorar profundidades entre 25 a 30 metros por debajo de la superficie del terreno. Asimismo, se ejecutaron 6 sondajes MASW, con lo cual se consiguió explorar una profundidad de investigación de 30 metros.

En cuanto, a la zona de desmonte, se ejecutaron 12 líneas de refracción sísmica con geófonos separados 4.5 metros, generando líneas de refracción de 108

metros. Con estas líneas se consiguió explorar profundidades entre 25 a 30 metros por debajo de la superficie del terreno. Además, se ejecutaron 4 sondajes MASW y se logró explorar una profundidad de investigación de 30 metros.

En la Figura 4.3 se muestra la ubicación de las investigaciones geofísicas, distribuidas en las zonas de los Relaves y Desmontera Proyectos; así como la zona del tajo El Gavilán.



**Figura 4.3** Ubicación de las investigaciones geofísicas  
**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.8 Muestreo para ensayos de mecánica de suelos

Las que se obtuvieron de los ensayos de SPT, fueron embaladas e identificadas en bolsas plásticas y almacenadas adecuadamente. Asimismo, se tomaron muestras de suelo de algunos sondajes para luego ser analizadas en laboratorio.

En la Tabla 4.6, se indica la cantidad de muestras por cada sondaje ejecutado. Las muestras fueron analizadas para caracterizar su clasificación según SUCS, mediante el análisis granulométrico por tamizado (ASTM D-422).

**Tabla 4.6** Cantidad de muestras para ensayos de mecánica de suelos

<b>Sondaje</b>	<b>Cantidad muestras tomadas</b>	<b>Cantidad de muestras de SPT</b>
GTg-02	4	-
GTg-03	4	-
HTg-01	2	7
HTg-02	4	13
HTg-03	3	7
HTg-04	-	1
HTg-05	-	5
HTg-06	-	4

**Fuente:** Elaboración propia.

## **4.2 PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

En el procesamiento de la información, se ha considerado agrupar la información según la proyección de acumulación de nuevos depósitos en la Unidad de Análisis, por lo que se clasifica la información según la zona de Depósitos de Relaves Proyectado y la zona de Desmontera Proyectada.

### **4.2.1 Zona de Depósitos de Relaves Proyectado**

#### **4.2.1.1 Perforaciones geotécnicas**

En la zona de los Depósitos de Relaves Proyectado, se ejecutaron 8 perforaciones con fines geotécnicos e hidrogeológicos, los cuales han sido zonificados de manera geotécnica y mostrados en el Anexo 5.

#### 4.2.1.2 Ensayos de permeabilidad

En la zona de Depósitos de Relaves Proyectado, donde se ejecutaron las 8 perforaciones se ejecutaron ensayos de permeabilidad de tipo Lefranc, Lugeon y recuperación de pozo.

En la Tabla 4.7 se indica el resumen de dichos ensayos por cada uno de los sondajes.

**Tabla 4.7** Ensayos de permeabilidad en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad (m)	K (cm/s)	Grado de permeabilidad según K	Litología	Formación geológica
GTg-02	1	4.75 - 5.35	3.76E-02	Permeable	GC-GM	Depósito antrópico
	2	10.50 - 11.00	2.27E-01	Permeable	GW-GM	Depósito Glaciar
	3	15.00 - 15.50	1.96E-01	Permeable	GW-GM	Depósito Glaciar
	4	20.00 - 20.50	6.33E-05	Poco Permeable	GW-GM	Depósito Glaciar
	5	24.00 - 24.50	2.96E-04	Algo Permeable	GW-GM	Depósito Glaciar
	6	29.00 - 29.50	1.08E-03	Algo Permeable	GW-GC	Depósito Glaciar
	7	34.00 - 34.50	7.14E-04	Algo Permeable	CL / Caliza	Contacto
	8	35.00 - 36.00	4.78E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Condorsinga
	9	40.00 - 41.00	4.15E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Condorsinga
	10	45.00 - 46.00	3.82E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Condorsinga
	11	49.00 - 50.00	3.81E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Condorsinga
GTg-03	1	4.50 - 5.00	1.85E-03	Algo Permeable	ML	Depósito Glaciar
	2	9.00 - 9.50	3.54E-03	Algo Permeable	GW-GM	Depósito Glaciar
	3	14.00 - 14.50	2.62E-03	Algo Permeable	GW-GM	Depósito Glaciar
	4	18.00 - 19.50	1.04E-03	Algo Permeable	GW-GC	Depósito Glaciar
	5	24.00 - 24.50	2.08E-04	Algo Permeable	GW	Depósito Glaciar

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad (m)	K (cm/s)	Grado de permeabilidad según K	Litología	Formación geológica
	6	29.00 - 29.50	1.65E-03	Algo Permeable	GC	Depósito Glaciar
	7	34.00 - 34.50	9.39E-04	Algo Permeable	GP-GC	Depósito Lacustre
	8	39.00 - 39.50	7.88E-04	Algo Permeable	Arenisca	Gpo. Goyllarisquizga
	9	43.00 - 44.00	2.48E-04	Algo Permeable	Arenisca	Gpo. Goyllarisquizga
	10	44.00 - 47.00	1.84E-04	Algo Permeable	Arenisca	Gpo. Goyllarisquizga
GTg-04	1	9.00 - 10.00	4.77E-05	Poco Permeable	GC	Depósito antrópico
	2	16.00 - 17.00	3.65E-05	Poco Permeable	CL-ML	Depósito Glaciar
	3	23.30 - 24.30	1.55E-03	Algo Permeable	SM	Depósito Glaciar
	4	30.60 - 32.70	1.20E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Condorsinga
	5	40.45 - 41.70	5.08E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
	6	56.10 - 57.20	6.94E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
HTg-02	1	2.0 - 6.10	1.8E-04	Algo Permeable	Pt	Suelo orgánico
	2	11.40 - 12.50	5.5E-04	Algo Permeable	Pt	Suelo orgánico
	3	15.00 - 18.00	3.5E-04	Algo Permeable	MH	Fluvioglaciar
	4	25.00 - 27.00	3.4E-04	Algo Permeable	MH	Fluvioglaciar
	5	32.00 - 34.00	5.5E-04	Algo Permeable	GM	Fluvioglaciar
	6	38.00 - 42.00	1.9E-04	Algo Permeable	Limolitas fracturadas	Gpo. Goyllarisquizga
	7	45.20 - 50.00	1.3E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	8	53.80 - 57.60	1.2E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	9	62.00 - 67.00	4.2E-05	Poco Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	10	69.00 - 75.00	8.3E-06	Poco Permeable	Limolitas fracturadas	Gpo. Goyllarisquizga
	11	78.90 - 83.50	8.3E-05	Poco Permeable	Dolomía muy fracturada	Gpo. Condorsinga
	12	88.40 - 91.00	6.3E-05	Poco Permeable	Dolomía muy fracturada	Fm. Condorsinga
	13	97.80 - 100.00	2.3E-04	Algo Permeable	Dolomía triturada	Fm. Condorsinga
HTg-03	1	4.50 - 6.60	2.3E-03	Algo Permeable	SM	Fluvioglaciar

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad (m)	K (cm/s)	Grado de permeabilidad según K	Litología	Formación geológica
	2	10.50 - 12.00	3.1E-04	Algo Permeable	GM	Fluvioglacial
	3	15.00 - 17.60	9.0E-04	Algo Permeable	GM	Fluvioglacial
	4	22.60 - 25.20	2.0E-04	Algo Permeable	Lutita fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	5	29.40 - 33.60	7.9E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	6	37.10 - 41.80	9.2E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	7	46.20 - 49.20	1.0E-03	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	8	55.20 - 58.20	5.0E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	9	61.50 - 65.50	1.9E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	10	68.00 - 73.70	5.7E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	11	77.20 - 82.20	4.6E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
	12	89.50 - 93.00	2.4E-04	Algo Permeable	Conglomerado fracturado	Gpo. Goyllarisquizga
	13	95.50 - 100.00	1.8E-04	Algo Permeable	Arenisca fracturada	Gpo. Goyllarisquizga
HTg-04	1	1.80 - 4.30	2.9E-04	Algo Permeable	MH	Fluvioglacial
	2	10.80 - 13.80	2.5E-04	Algo Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	3	21.50 - 24.70	2.5E-04	Algo Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	4	31.50 - 34.50	8.6E-05	Poco Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	5	41.50 - 44.50	2.1E-03	Algo Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	6	49.50 - 54.50	2.4E-05	Poco Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	7	62.50 - 64.10	3.5E-05	Poco Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	8	71.20 - 74.80	1.2E-04	Algo Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	9	80.90 - 84.90	6.9E-05	Poco Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	10	90.10 - 94.10	2.8E-05	Poco Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	11	110.6 - 114.60	2.3E-04	Algo Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	12	100.9 - 104.40	1.3E-04	Algo Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu
	13	110.6 - 114.60	1.6E-04	Algo Permeable	Andesita porfírica	Gpo. Mitu

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad (m)	K (cm/s)	Grado de permeabilidad según K	Litología	Formación geológica
	14	121.20-124.20	3.3E-04	Algo Permeable	Andesita porfirítica	Gpo. Mitu
	15	131.20-135.00	1.3E-04	Algo Permeable	Andesita porfirítica	Gpo. Mitu
	16	131.20-135.00	2.6E-04	Algo Permeable	Andesita porfirítica	Gpo. Mitu
	17	136.00-140.00	7.4E-05	Poco Permeable	Andesita porfirítica	Gpo. Mitu
HTg-05	1	6.00 - 9.80	5.3E-04	Algo Permeable	GM	Fluvioglacial
	2	15.00 - 17.80	2.2E-04	Algo Permeable	MH	Fluvioglacial
	3	23.80 - 26.80	1.3E-04	Algo Permeable	Aglomerado volcánico	Gpo. Mitu
	4	32.80 - 35.80	1.9E-04	Algo Permeable	Aglomerado volcánico	Gpo. Mitu
	5	41.80 - 44.80	1.2E-04	Algo Permeable	Dacita	Gpo. Mitu
	6	50.80 - 53.80	1.4E-04	Algo Permeable	Dacita	Gpo. Mitu
	7	56.60 - 61.20	7.8E-05	Poco Permeable	Andesita porfirítica	Gpo. Mitu
	8	67.30 - 70.30	1.5E-04	Algo Permeable	Andesita porfirítica	Gpo. Mitu
	9	77.40 - 80.40	3.3E-05	Poco Permeable	Toba poco fracturada	Gpo. Mitu
	10	86.40 - 89.40	9.7E-04	Algo Permeable	Toba poco fracturada	Gpo. Mitu
	11	94.20 - 99.40	1.2E-03	Algo Permeable	Dacita	Gpo. Mitu
	12	109.0 - 110.00	1.5E-04	Algo Permeable	Toba poco fracturada	Gpo. Mitu
	13	114.40-120.00	9.6E-05	Poco Permeable	Toba poco fracturada	Gpo. Mitu
HTg-06	1	10.00 - 12.00	3.0E-04	Algo Permeable	MH	Fluvioglacial
	2	23.00 - 24.30	1.1E-02	Permeable	Caliza fracturada	Fm. Chúlec
	3	28.80 - 30.10	3.2E-03	Algo Permeable	Caliza fracturada	Fm. Chúlec
	4	46.20 - 50.10	3.9E-04	Algo Permeable	Caliza poco fracturada	Fm. Chúlec

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.1.3 Ensayos de SPT

Los ensayos SPT fueron ejecutados durante la ejecución de las perforaciones de los 8 sondajes.

En la Tabla 4.8, se muestra el resumen de dichos ensayos ejecutados.

**Tabla 4.8** Ensayos SPT en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado

Sondaje	Ensayo	Profundidad (m)	N (Campo)	N <sub>(60)</sub>	Compacidad/Consistencia	Ángulo de fricción (°)
GTg-02	SPT-1	3.45	7	7	Suelta	31
	SPT-2	8.45	31	26	Muy Firme	38
	SPT-3	12.45	13	9	Firme	32
	SPT-4	18.45	20	12	Firme	33
	SPT-5	21.95	5	3	Muy Suelto	28
	SPT-6	26.95	29	14	Muy Firme	34
	SPT-7	30.95	8	3	Suelta	28
GTg-03	SPT-1	3.45	15	15	Firme	35
	SPT-2	6.45	21	20	Firme	37
	SPT-3	10.95	31	24	Muy Firme	38
	SPT-4	13.95	48	33	Densa	40
	SPT-5	16.95	41	25	Densa	38
	SPT-6	26.5	49	24	Densa	37
GTg-04	SPT-1	5.00	50	42	Densa	43
HTg-02	SPT-1	1.65	4	4	Muy Suelto	29
	SPT-2	3.30	9	8	Suelta	32
	SPT-3	4.65	4	4	Muy Suelto	29
	SPT-4	7.65	21	18	Firme	36
	SPT-5	9.15	13	10	Firme	32
	SPT-6	11.15	12	9	Firme	32
	SPT-7	14.15	19	13	Firme	34
	SPT-8	15.65	17	11	Firme	33
	SPT-9	17.15	7	4	Suelta	29
	SPT-10	20.15	6	3	Suelta	28
	SPT-11	23.15	6	3	Suelta	28
	SPT-12	26.15	8	4	Suelta	29
	SPT-13	29.15	30	14	Muy Firme	34
HTg-03	SPT-1	1.65	24	23	Muy Firme	38
	SPT-2	3.30	6	6	Suelta	30
	SPT-3	4.65	18	16	Firme	35
	SPT-4	6.30	15	14	Firme	34
	SPT-5	8.15	26	21	Muy Firme	37
	SPT-6	10.20	20	15	Firme	35
	SPT-7	14.05	23	15	Muy Firme	35
	SPT-8	17.05	35	21	Densa	37
HTg-04	SPT-1	3.15	9	9	Suelta	32
HTg-05	SPT-1	3.15	5	5	Muy Suelto	30
	SPT-2	6.15	13	12	Firme	33
	SPT-3	9.95	13	10	Firme	32
	SPT-4	13.55	10	7	Suelta	31
	SPT-5	16.95	7	4	Suelta	29

Sondaje	Ensayo	Profundidad (m)	N (Campo)	N <sub>(60)</sub>	Compacidad/Consistencia	Ángulo de fricción (°)
HTg-06	SPT-1	3.45	4	4	Muy Suelto	29
	SPT-2	4.95	6	5	Suelta	30
	SPT-3	6.65	8	7	Suelta	31
	SPT-4	7.95	8	7	Suelta	31
	SPT-5	9.45	7	5	Suelta	30
	SPT-6	10.95	2	1	Muy Suelto	26
	SPT-7	13.95	8	5	Suelta	30
	SPT-8	15.45	4	2	Muy Suelto	28
	SPT-9	21.45	4	2	Muy Suelto	27

Nota:

- N<sub>60</sub>: Valor corregido de acuerdo con la energía del martillo, diámetro de perforación, muestreador y corrección por varillaje de acuerdo con la profundidad del ensayo.
- N (campo): Valor de suma de los dos últimos tramos.
- Ángulo de fricción: Valor promedio obtenido a partir de correlaciones existentes tales como; Hatanaka & Uchida (1996), Muromachi (1974) y Meyerhof (1959).

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1.4 Instalación de piezómetros

Los piezómetros instalados en las 8 perforaciones en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado se describen la Tabla 4.9 siguiente.

**Tabla 4.9** Piezómetros en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado

Sondaje	Profundidad (m)	Tipo de piezómetro	Nivel de agua (m)	Piezómetro
GTg-02	49.70	Doble	35.47	Geotécnico
	28.40		Seco	
GTg-03	47.00	Simple	28.89	Geotécnico
GTg-04	60.66	Simple	Seco	Geotécnico
HTg-02	98.15	Doble	23.57	Hidrogeológico
	27.00		4.97	
HTg-03	98.25	Doble	1.72	Hidrogeológico
	15.20		4.06	
HTg-04	138.49	Simple	135.82	Hidrogeológico
HTg-05	119.50	Doble	113.58	Hidrogeológico
	16.90		1.80	
HTg-06	47.70	Doble	Surgente	Hidrogeológico
	17.50		Surgente	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1.5 Refracción sísmica

Se realizaron 22 líneas de refracción sísmica, logrando alcanzar profundidades de exploración entre 25 a 30 metros.

En la Tabla 4.10, se muestra el resumen de la refracción sísmica en la zona de los Depósitos de Relaves Proyectado.

**Tabla 4.10** Refracción sísmica en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado

Línea	Estrato	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
LR20-01_01 (A-B)	01	400 – 700	2.4 – 8.9	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	7.2 – 21.3	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 1800	3.9 – 11.8	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
LR20-01_02 y LR20-01_03 (B-E)	01	300 – 700	0.8 – 8.9	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1300	18.0 – 33.4	Material granular denso o roca muy fracturada
LR20-01_04 y LR20-01_05 (F-H)	01	500 – 700	0.7 – 19.3	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	9.1 – 33.1	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 1900	11.8 – 23.0	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
LR20-01_06 y LR20-01_07 (H-J)	01	500 – 700	2.7 – 10.0	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	11.5 – 28.9	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 1900	13.2 – 20.5	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
LR20-02_01 y LR20-02_02 (K-N)	01	500 – 700	1.0 – 7.8	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	7.2 – 26.9	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 1900	6.8 – 25.3	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
LR20-02_03 (O-P)	01	500 – 700	4.4 – 13.0	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	13.6 – 20.0	Material granular denso o roca muy fracturada

<b>Línea</b>	<b>Estrato</b>	<b>Vp (m/s)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Descripción</b>
	03	1500 – 1700	1.9 – 5.6	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
<b>LR20-03_01 y LR20-03_02 (S-V)</b>	01	300 – 700	5.0 – 8.8	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	9.8 – 17.6	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 1900	4.0 – 20.0	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
<b>LR20-03_03 (Q-R)</b>	01	300 – 700	3.4 – 10.6	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	7.0 – 18.0	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 2700	7.5 – 24.0	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
<b>LR20-04_A (W- X)</b>	01	300 – 700	4.7 – 15.0	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1100	7.3 – 16.6	Material granular denso o roca muy fracturada
<b>LR20-04_B (Y-Z)</b>	01	500 – 700	0.7 – 4.0	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	20.0 – 23.9	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 1700	3.6 – 5.6	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
<b>LR20-05_01 (AA- AB)</b>	01	400 – 700	6.4 – 10.6	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	6.2 – 20.8	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 1600	2.8 – 7.4	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
<b>LR20-05_02 (AC- AD)</b>	01	400 – 700	2.1 – 14.6	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1300	10.2 – 22.0	Material granular denso o roca muy fracturada
<b>LR20-06 (AE-AF)</b>	01	500 – 700	0.3 – 6.4	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	15.4 – 22.4	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 2700	7.0 – 18.0	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
	04	2700 – 3100	6.4 – 6.7	Roca ligeramente fracturada a roca sana
<b>LR20-07 (AG-AH)</b>	01	700 – 1500	2.2 – 7.7	Material granular denso o roca muy fracturada
	02	1500 – 2700	19.5 – 24.2	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada

Línea	Estrato	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
LR20-08 (AI-AJ)	01	700 – 1500	1.3 – 3.0	Material granular denso o roca muy fracturada
	02	1500 – 2700	9.8 – 10.9	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
	03	2700 – 3100	4.6 – 5.7	Roca ligeramente fracturada a roca sana
LR20-09 (AK-AL)	01	300 – 700	1.2 – 3.7	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	1.0 – 2.8	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 2700	17.6 – 21.1	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
	04	2700 – 3300	3.8 – 7.5	Roca ligeramente fracturada a roca sana
LR20-10 (AM-AN)	01	500 – 700	1.6 – 6.0	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	3.2 – 10.9	Material granular denso o roca muy fracturada
	03	1500 – 2700	17.0 – 24.3	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
	04	2700 – 2900	2.8 – 4.0	Roca ligeramente fracturada a roca sana

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.1.6 Ensayos de MASW

En la zona de Depósitos de Relaves Proyectado, se ejecutaron 6 sondajes MASW, con los cual se alcanzó a explorar profundidades de 30 metros.

En la Tabla 4.11, se muestra el resumen de los ensayos MASW.

**Tabla 4.11** MASW en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado

Línea	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Prof. (m)	Descripción
MR20-01	01	250 – 289	9.0	9.0	Material granular medianamente denso
	02	314 – 501	21.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada
MR20-02	01	238 – 290	21.0	21.0	Material granular medianamente denso
	02	302 – 330	9.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada

Línea	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Prof. (m)	Descripción
MR20-03	01	354 – 444	30.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada
MR20-04	01	315 – 482	30.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada
MR20-05	01	211 – 286	30.0	30.0	Material granular medianamente denso
MR20-06	01	722 – 1194	30.0	30.0	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.1.7 Resultados de laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, con el fin de caracterizar los horizontes interceptados en las 8 perforaciones de la zona de Depósitos de Relaves Proyectado.

En la Tabla 4.12 se muestra el resumen de los resultados de laboratorio.

**Tabla 4.12** Parámetros índice en la zona de Depósitos de Relaves Proyectado

Sondaje	Muestra	Prof. (m)	w (%)	Granulometría			Límites Atterberg			SUCS
				G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
GTg-02	M-1	12.00- 13.60	6.1	41.7	30.5	27.8	22	15	6	GC-GM
GTg-02	M-2	19.40- 20.60	6.9	35.2	40.0	24.8	18	13	5	SC-SM
GTg-02	M-3	26.95- 28.60	3.0	28.9	34.5	36.6	19	14	5	SC-SM
GTg-02	M-4	33.30- 34.60	3.3	8.3	19.6	72.1	28	18	9	CL
GTg-03	M-1	1.80- 3.00	2.5	1.2	30.5	68.3	30	18	13	CL
GTg-03	M-2	16.00- 17.95	9.5	41.9	29.3	28.8	19	14	5	GC-GM
GTg-03	M-3	25.00- 27.00	10.3	25.1	35.2	39.7	22	15	7	SC-SM
GTg-03	M-4	33.70- 34.50	11.1	32.9	24.4	42.7	23	14	9	GC
HTg-01	M-1	11.80- 13.00	31.1	4.4	42.1	53.5	38	28	10	ML
HTg-01	M-2	15.60- 16.90	32.1	6.0	48.2	45.8	37	25	12	SM
HTg-01	SPT-1	2.65 - 2.95	70.2	35.5	41.2	23.3	78	63	15	SM

Sondaje	Muestra	Prof. (m)	w (%)	Granulometría			Límites Atterberg			SUCS
				G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
HTg-01	SPT-3	6.65- 6.95	20.8	18.9	34.2	46.9	34	20	14	SC
HTg-01	SPT-4	8.15- 8.45	45.6	2.2	35.9	61.9	38	30	9	ML
HTg-01	SPT-5	9.65- 9.95	24.5	12.2	60.8	27.0	34	27	7	SM
HTg-01	SPT-7	13.15- 13.45	23.9	11.8	64.8	23.4	31	23	8	SM
HTg-01	SPT-8	15.15- 15.45	46.9	4.8	52.7	42.5	40	32	8	SM
HTg-01	SPT-9	17.15- 17.45	24.6	11.6	48.8	39.6	36	25	10	SM
HTg-02	M-1	3.45- 4.50	18.7	18.4	27.3	54.3	22	15	7	CL-ML
HTg-02	M-2	9.55- 10.70	18.7	0.0	8.1	91.9	22	16	6	CL-ML
HTg-02	M-3	17.55- 18.80	33.4	0.0	0.6	99.4	29	19	10	CL
HTg-02	M-4	24.70- 26.00	29.7	0.0	0.3	99.7	36	25	11	ML
HTg-02	SPT-01	1.65- 1.95	15.7	3.0	15.8	81.2	72	63	9	MH
HTg-02	SPT-02	3.30- 3.60	10.9	24.9	38.3	36.8	21	15	6	SC-SM
HTg-02	SPT-03	4.65- 4.95	137. 4	0.0	9.6	90.4	55	49	6	MH
HTg-02	SPT-04	7.65- 7.95	22.9	0.0	5.5	94.5	24	17	6	CL-ML
HTg-02	SPT-05	9.15- 9.45	22.4	0.6	13.0	86.4	22	17	6	CL-ML
HTg-02	SPT-06	11.15- 11.45	22.1	0.0	18.8	81.2	23	18	5	CL-ML
HTg-02	SPT-07	14.15- 14.45	23.8	0.0	28.9	71.1	21	17	4	ML
HTg-02	SPT-08	15.65- 15.95	30.2	0.0	1.3	98.7	28	18	10	CL
HTg-02	SPT-09	17.15- 17.45	27.6	0.0	0.5	99.5	39	25	14	CL
HTg-02	SPT-10	20.15- 20.45	31.0	0.0	0.0	100.0	35	20	15	CL
HTg-02	SPT-11	23.15- 23.45	29.8	0.0	2.2	97.8	34	22	12	CL
HTg-02	SPT-12	26.15- 26.45	27.3	0.0	0.3	99.7	34	20	14	CL
HTg-02	SPT-13	29.15- 29.45	22.3	0.0	0.9	99.1	21	15	6	CL-ML
HTg-03	M-1	3.60- 5.25	11.9	34.2	32.4	33.4	21	15	6	GC-GM
HTg-03	M-2	10.80- 12.20	14.7	25.2	38.5	36.3	21	15	7	SC-SM
HTg-03	M-3	15.95- 17.00	14.3	29.4	29.2	41.4	24	15	8	GC

Sondaje	Muestra	Prof. (m)	w (%)	Granulometría			Límites Atterberg			SUCS
				G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
HTg-03	SPT-01	1.65- 1.95	14.5	34.1	32.5	33.4	25	19	14.5	GC-GM
HTg-03	SPT-02	3.30- 3.45	15.9	13.2	42.2	44.6	24	17	15.9	SC-SM
HTg-03	SPT-03	4.65- 4.95	8.4	46.6	36.9	16.5	19	14	8.4	GC-GM
HTg-03	SPT-04	6.30- 6.60	12.4	21.1	33.7	45.2	22	15	12.4	SC
HTg-03	SPT-05	8.15- 8.45	9.6	38.5	40.6	20.9	20	16	9.6	SM
HTg-03	SPT-06	10.20- 10.50	13.3	18.1	51.8	30.1	19	16	13.3	SM
HTg-03	SPT-07	14.05- 14.35	11.4	36.5	43.0	20.5	20	15	11.4	SC-SM
HTg-04	SPT-01	3.15- 3.45	25.1	2.1	60.5	37.4	40	28	13	SM
HTg-05	SPT-01	3.15- 3.45	13.9	16.5	64.0	19.5	25	19	6	SC-SM
HTg-05	SPT-02	6.15- 6.45	13.5	20.9	61.8	17.3	27	19	8	SC
HTg-05	SPT-03	9.95- 10.25	58.5	0.0	11.5	88.5	49	35	14	ML
HTg-05	SPT-04	13.55- 13.85	84.7	1.5	13.4	80.1	54	36	18	MH
HTg-05	SPT-05	16.95- 17.25	79.6	0.8	10.1	89.1	51	34	17	MH
HTg-06	SPT-01	3.10- 3.45	37.4	3.6	20.9	75.5	33	24	9	ML
HTg-06	SPT-03	6.35- 6.65	33.4	12.2	21.1	66.7	28	20	8	CL
HTg-06	SPT-05	9.15- 9.45	49.6	2.3	15.7	82.0	44	31	13	ML
HTg-06	SPT-06	21.15- 21.45	37.2	0.3	22.3	77.4	31	19	13	CL

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2.2 Zona de desmontera proyectada

### 4.2.2.1 Perforaciones geotécnicas

En la zona de Desmontera Proyectada, se ejecutaron 6 perforaciones con fines geotécnicos e hidrogeológicos, las cuales ha sido zonificados de manera geotécnica y mostrados en el Anexo 5.

#### 4.2.2.2 Ensayos de permeabilidad

En la zona de Desmontera Proyectada, donde se ejecutaron las 6 perforaciones, se realizaron ensayos de permeabilidad de tipo Lefranc, Lugeon y recuperación de pozo.

En la Tabla 4.13, se indica el resumen de dichos ensayos para cada uno de los sondajes.

**Tabla 4.13** Ensayos de permeabilidad en la zona de Desmontera Proyectada

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad (m)	K (cm/s)	Grado de permeabilidad según K	Litología	Formación geológica
GTg-10	1	8.50 - 9.00	1.83E-01	Permeable	GP	Depósito antrópico
	2	17.50 - 18.00	1.93E-01	Permeable	GP	Depósito antrópico
	3	26.50 - 27.00	1.66E-01	Permeable	GP	Depósito antrópico
	4	35.50 - 36.00	1.73E-01	Permeable	GP	Depósito antrópico
	5	44.50 - 45.00	1.89E-01	Permeable	GP	Depósito antrópico
	6	49.40 - 51.40	2.18E-02	Permeable	GW	Depósito antrópico
	7	51.70 - 52.20	9.34E-04	Algo Permeable	Andesita	Gp. Mitu
GTg-11	1	8.50 - 9.00	2.47E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	2	17.50 - 18.00	1.86E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	3	26.50 - 27.00	2.18E-01	Permeable	GW-GM	Depósito antrópico
	4	36.10 - 36.30	5.03E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	5	44.50 - 45.00	2.36E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	6	53.50 - 54.00	2.64E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	7	62.50 - 63.00	2.22E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	8	71.50 - 72.00	2.66E-01	Permeable	MH	Depósito Glaciar
	9	79.50 - 80.00	2.59E-01	Permeable	MH	Depósito Glaciar
	10	84.50 - 85.00	3.81E-04	Algo Permeable	MH	Depósito Glaciar

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad (m)	K (cm/s)	Grado de permeabilidad según K	Litología	Formación geológica
GTg-12	11	89.50 - 90.30	5.53E-04	Algo Permeable	Dolomía	Fm. Chambará
	1	6.00 - 6.50	1.36E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	2	9.00 - 9.50	2.24E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	3	12.00 - 12.50	1.89E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	4	15.00 - 15.50	2.02E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	5	18.00 - 18.50	1.43E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	6	21.00 - 21.50	2.66E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	7	24.00 - 24.55	8.28E-05	Poco Permeable	GM	Depósito Glaciar
	8	27.00 - 27.50	1.00E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
	9	30.00 - 30.50	2.08E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
	10	33.00 - 33.50	1.26E-03	Algo Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
11	34.50 - 35.00	8.84E-04	Algo Permeable	Caliza	Fm. Aramachay	
GTg-13	1	8.50 - 9.00	1.11E+00	Muy Permeable	GW	Depósito antrópico
	2	17.40 - 17.90	1.15E+00	Muy Permeable	GW	Depósito antrópico
	3	27.20 - 27.50	4.93E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	4	32.70 - 33.50	1.10E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	5	35.90 - 36.40	2.40E-01	Permeable	Andesita	Gpo. Mitú
GTg-14	1	6.00 - 6.50	2.60E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	2	9.00 - 9.50	1.34E+00	Muy Permeable	GW	Depósito antrópico
	3	12.00 - 12.50	1.26E+00	Muy Permeable	GW	Depósito antrópico
	4	15.00 - 15.50	1.20E+00	Muy Permeable	GW	Depósito antrópico
	5	18.00 - 18.50	2.00E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	6	21.00 - 21.50	2.01E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	7	24.00 - 24.50	3.34E-04	algo Permeable	GC	Depósito antrópico
	8	27.00 - 27.50	2.77E-01	Permeable	GC	Depósito antrópico

Sondaje	Ensayo N°	Profundidad (m)	K (cm/s)	Grado de permeabilidad según K	Litología	Formación geológica
	9	30.00 - 30.50	1.29E-04	Algo Permeable	GW	Depósito antrópico
	10	33.00 - 33.50	2.68E-01	Permeable	GW	Depósito antrópico
	11	36.00 - 36.50	1.35E+00	Muy Permeable	GW	Depósito antrópico
	12	39.00 - 39.50	1.36E+00	Muy Permeable	GW	Depósito antrópico
	13	42.00 - 42.50	2.48E-02	Permeable	GW	Depósito antrópico
	14	45.00 - 45.50	4.44E-02	Permeable	GW	Depósito antrópico
	15	48.00 - 48.50	4.00E-02	Permeable	GW-GC	Depósito antrópico
	16	51.00 - 51.50	3.70E-02	Permeable	GW-GC	Depósito antrópico
	17	54.00 - 54.50	9.25E-02	Permeable	GC	Depósito antrópico
	18	57.00 - 57.50	2.75E-01	Permeable	GC	Depósito antrópico
	19	59.80 - 60.50	5.28E-02	Permeable	GC	Depósito Glaciar
	20	63.20 - 63.50	3.46E-02	Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
	21	67.40 - 68.30	2.49E-02	Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
	22	71.00 - 71.70	5.74E-02	Permeable	Caliza	Fm. Aramachay
HTg-01	1	3.10 - 6.00	3.9E-04	Algo Permeable	Pt	Fluvioglaciar
	2	9.00 - 12.00	3.1E-04	Algo Permeable	SM-Pt	Fluvioglaciar
	3	15.00 - 18.00	6.9E-04	Algo Permeable	ML	Fluvioglaciar
	4	21.00 - 23.40	1.5E-04	Algo Permeable	GM	Fluvioglaciar
	5	27.00 - 30.00	6.6E-04	Algo Permeable	GM	Fluvioglaciar
	6	33.00 - 36.00	4.7E-04	Algo Permeable	Caliza fracturada	Gpo. Mitu
	7	40.50 - 44.50	1.7E-04	Algo Permeable	Caliza muy fracturada	Gpo. Mitu
	8	49.00 - 52.00	2.3E-04	Algo Permeable	Caliza fracturada	Gpo. Mitu
	9	66.50 - 68.60	7.6E-04	Algo Permeable	Caliza poco fracturada	Gpo. Mitu
	10	82.70 - 85.70	6.4E-04	Algo Permeable	Caliza fracturada	Gpo. Mitu

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.2.2.3 Ensayos de SPT

Los ensayos SPT, se realizaron durante la ejecución del sondaje HTg-01. En el resto de los sondajes ejecutados, no se realizaron ensayos de SPT, debido a que la litología atravesada es de tipo granular grueso.

En la Tabla 4.14, se muestra el resumen de dichos ensayos ejecutados.

**Tabla 4.14** Ensayos SPT en la zona de Desmontera Proyectada

Sondaje	Ensayo	Profundidad (m)	N (Campo)	N <sub>(60)</sub>	Compacidad/Consistencia	Ángulo de fricción (°)
HTg-01	SPT-1	2.65	2	2	Muy Suelto	27
	SPT-2	4.55	5	5	Muy Suelto	30
	SPT-3	6.65	6	5	Suelta	30
	SPT-4	8.15	6	5	Suelta	30
	SPT-5	9.65	2	2	Muy Suelto	27
	SPT-6	11.15	3	2	Muy Suelto	27
	SPT-7	13.15	13	9	Firme	32
	SPT-8	15.15	13	8	Firme	31
	SPT-9	17.15	21	12	Firme	33
	SPT-10	19.00	50	28	Densa	39

Nota:

- N<sub>60</sub>: Valor corregido de acuerdo con la energía del martillo, diámetro de perforación, muestreador y corrección por varillaje de acuerdo con la profundidad del ensayo.
- N (campo): Valor de suma de los dos últimos tramos.
- Ángulo de fricción: Valor promedio obtenido a partir de correlaciones existentes tales como; Hatanaka & Uchida (1996), Muromachi (1974) y Meyerhof (1959).

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.2.2.4 Instalación de piezómetros

Los piezómetros instalados en las 6 perforaciones en la zona de Desmontera Proyectada se describen la Tabla 4.15 siguiente.

**Tabla 4.15** Piezómetros en la zona de Desmontera Proyectada

Sondaje	Profundidad (m)	Tipo de piezómetro	Nivel de agua (m)	Piezómetro
GTg-10	45.50	Simple	Seco	Geotécnico
GTg-11	84.30	Doble	Seco	Geotécnico
	58.00		Seco	
GTg-12	34.65	Simple	Seco	Geotécnico
GTg-13	33.00	Simple	Seco	Geotécnico
GTg-14	70.50	Simple	Seco	Geotécnico

Sondaje	Profundidad (m)	Tipo de piezómetro	Nivel de agua (m)	Piezómetro
HTg-01	99.40	Doble	98.09	Hidrogeológico
	21.15		20.10	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2.5 Refracción sísmica

Se realizaron 12 líneas de refracción sísmica, logrando alcanzar profundidades de exploración entre 25 a 30 metros.

En la Tabla 4.16, se muestra el resumen de la refracción sísmica en la zona de la Desmontera Proyectada.

**Tabla 4.16** Refracción sísmica en la zona de Desmontera Proyectada

Línea	Estrato	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
LD20-01 (AO-AP)	01	100 – 300	1.0 – 3.8	Material granular suelto.
	02	300 – 700	17.7 – 20.0	Material granular medianamente denso.
	03	700 – 900	13.4 – 14.1	Material granular denso o roca muy fracturada.
LD20-02 (AQ-AR)	01	500 – 700	0.6 – 2.2	Material granular medianamente denso
	02	700 - 1400	19.4 – 28.3	Material granular denso o roca muy fracturada
LD20-03 (AS-AU)	01	600 – 700	0.1 – 10.4	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1200	19.4 – 25.1	Material granular denso o roca muy fracturada
LD20-04_01 (AV-AW)	01	600 – 700	1.1 – 3.0	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1400	21.2 – 29.6	Material granular denso o roca muy fracturada
LD20-04_02 (AX-AY)	01	700 - 1400	23.5 – 26.5	Material granular denso o roca muy fracturada
LD20-05 (AZ-BB)	01	500 – 700	1.9 – 13.5	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1400	21.5 – 33.0	Material granular denso o roca muy fracturada
LD20-06 (BC-BE)	01	500 – 700	2.0 – 4.8	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1100	25.0 – 27.9	Material granular denso o roca muy fracturada
LD20-07 (BF-BH)	01	300 – 700	1.0 – 8.3	Material granular medianamente denso
	02	700 – 1500	3.6 – 11.5	Material granular denso o roca muy fracturada

Línea	Estrato	Vp (m/s)	Espesor (m)	Descripción
	03	1500 – 2700	6.5 – 22.0	Material granular muy denso o roca ligeramente fracturada
	04	2700 – 2900	4.6 – 19.5	Roca ligeramente fracturada a roca sana

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.2.6 Ensayos de MASW

En la zona de desmontera proyectada, se ejecutaron 4 sondajes MASW, con los cual se alcanzó a explorar profundidades de 30 metros.

En la Tabla 4.17, se muestra el resumen de los ensayos MASW.

**Tabla 4.17** MASW en la zona de Desmontera Proyectada

Línea	Estrato	Vs (m/s)	Espesor (m)	Prof. (m)	Descripción
<b>MD20-01</b>	01	230 - 299	20.0	20.0	Material granular medianamente denso
	02	311 - 351	10.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada
<b>MD20-02</b>	01	343 - 475	30.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada
<b>MD20-03</b>	01	385 - 578	30.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada
<b>MD20-04</b>	01	422 - 512	30.0	30.0	Material granular denso o roca muy fracturada

**Fuente:** Elaboración propia.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA ZONA DE DEPÓSITOS DE RELAVES Y DESMONTERA PROYECTADA**

En la zona de estudio de la presente investigación se tiene por objetivo el análisis de las características geológicas y geotécnicas en donde se tiene proyectado incrementar la ampliación de nuevos depósitos. Estos depósitos se han definido como Depósitos de Relaves Proyectado y Depósitos de Desmontera Proyectada.

La zona de depósitos de relaves proyectado tiene un tajo y laderas de depósitos existentes denominados Tajo y Ladera Gavilán, respectivamente.

La zona de Desmontera Proyectada, se proyecta construir al sureste del Tajo Gavilán, en el flanco derecho de la quebrada Ayamachay.

En base a la información revisada y debidamente interpretada, y fundamentalmente en base a los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio, se analizan y discuten los resultados que a continuación se sintetizan:

### **5.1.1 Evaluación geológica**

La zona del Tajo Gavilán se encuentra formado por dos grupos de basamento rocoso, el primero denominado Grupo Mitu que consiste por andesitas porfíricas y tobas; y el segundo por el Grupo Pucará conformado por dolomías y calizas. En el contacto entre ambas formaciones litológicas, se distingue una falla regional de 15 m de ancho aproximadamente, que se conoce como zona de transición y cruza la parte central del tajo en dirección NW-SE. Según investigaciones anteriores realizadas en el Tajo Gavilán mediante una zonificación geomecánica, análisis de equilibrio límite y esfuerzo de deformación, determinaron que el Tajo se encuentra estable en condiciones estáticas con factores de seguridad entre 1.6 a 2.3, en condiciones pseudoestáticas entre 1.2 a 2.2 y con el análisis de esfuerzo deformación obtuvieron resultados de 0.014 a 0.036 m.

Respecto al depósito de desmontera proyectada, se encuentra sobre el depósito de mina existente cuyo espesor varía entre 15 a 50 metros aproximadamente. Debajo del material de desmonte, se encuentra sobre una delgada capa de depósito glacial seguido por el basamento rocoso correspondiente a los Grupos Pucará y Mitu.

### **5.1.2 Parámetros geotécnicos del suelo**

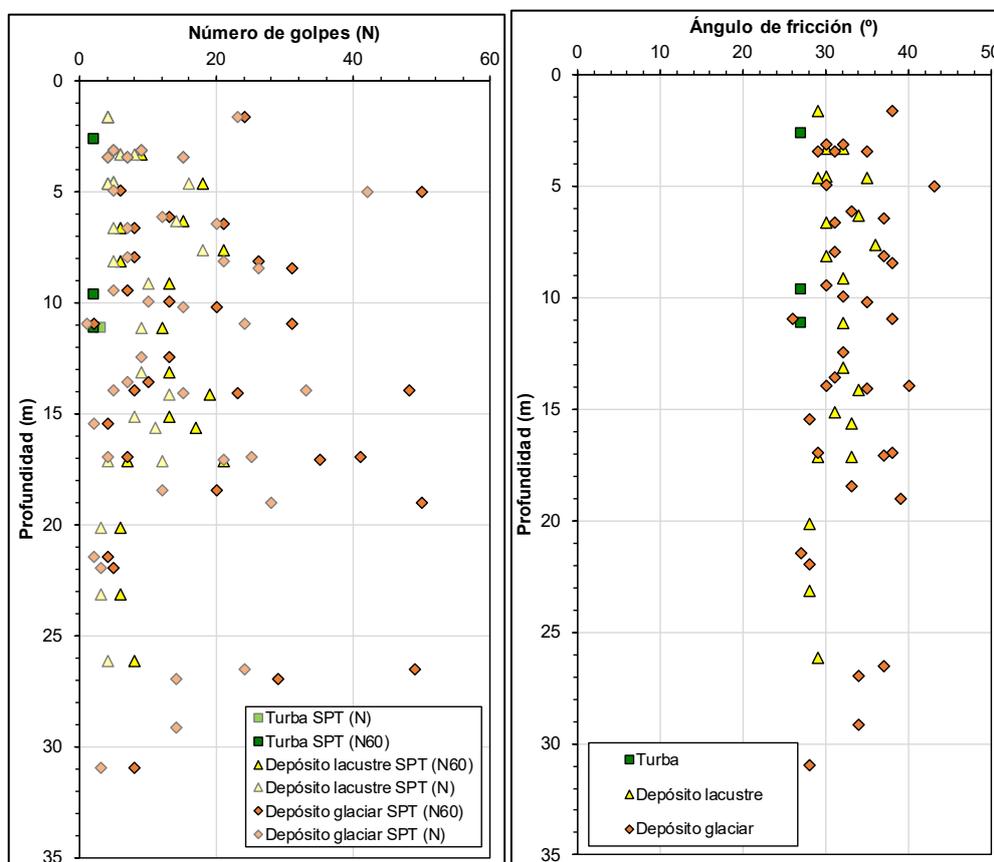
En la zona de Desmontera Proyectada, se ejecutaron 6 perforaciones para caracterizar el material de desmonte, dichas perforaciones se denominaron GTg-10, GTg-11, GTg-12, GTg-13, GTg-14 y HTg-01. El material caracterizado está compuesto por grava mal graduada (GP), sin plasticidad,

suelta a medianamente densa, color gris a marrón y seco, con fragmentos de T<sub>max</sub> entre 8” y 12”. Además, se realizaron ensayos geofísicos, como refracción sísmica y MASW con el fin de determinar las velocidades de ondas S y P.

El Depósito de Relaves Proyectado en la ladera Gavilán, se encuentra sobre materiales de desmonte de mina y depósitos cuaternarios (deposición glaciar, coluvial y lacustre). Estos depósitos han sido investigados mediante perforaciones diamantina y ensayos geofísicos. Asimismo, se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos. Por otro lado, el tajo Gavilán está caracterizado en su totalidad por macizo rocoso.

En las perforaciones diamantinas ejecutadas para la zona de Depósitos de Relaves y Desmonte de mina, los depósitos de suelo natural se clasifican según el origen geológico como suelo orgánico (turba), depósito lacustre y depósito glaciar. La turba se encuentra en la parte superficial de consistencia muy suelta según el número de golpes de SPT y el ángulo de fricción estimada que varía entre 26° y 27°. El depósito lacustre se clasifica según SUCS como CL-ML, CL, SC, ML y SM, en donde su consistencia varía de muy suelta a firme; del mismo modo, el ángulo de fricción varía entre 28° y 35°. El depósito glaciar ha sido clasificado como GC-GM, SC-SM, SM con horizontes de suelos finos ML y MH, verificadas en los sondajes HTg-04 y HTg-05; la compactación y consistencia es variable, pero alcanza en su mayoría a clasificarse como densa a muy firme con ángulos de fricción estimados entre 28° y 43°. En la Figura 5.1,

se resume el número de golpes del ensayo SPT respecto a la profundidad y la estimación del ángulo de fricción.

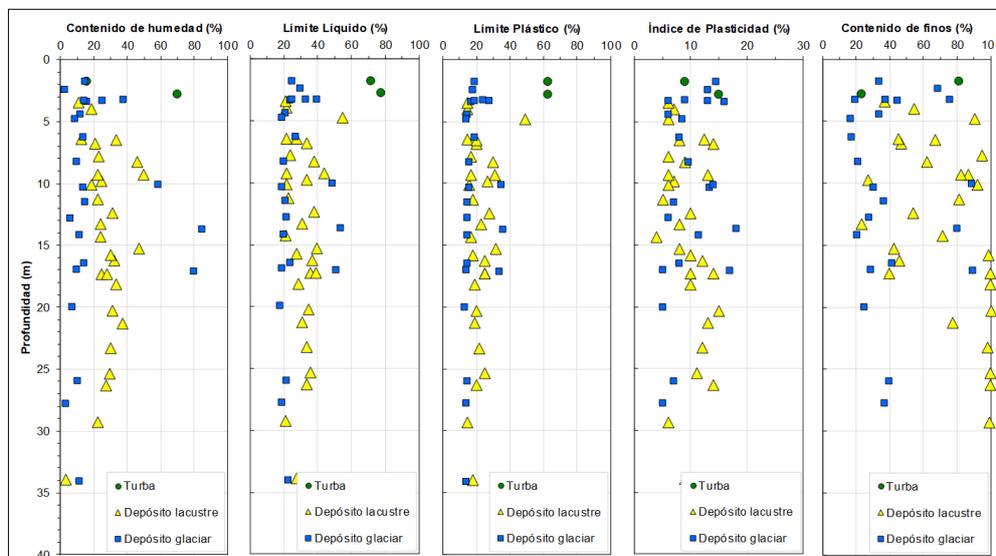


**Figura 5.1** Número de golpes de SPT y el ángulo de fricción versus la profundidad

**Fuente:** Elaboración propia.

Respecto a los resultados realizados en los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, con el fin de caracterizar los horizontes interceptados con las perforaciones, han sido obtenidas mediante ensayos de SPT y muestreo de algunos sondajes, siendo un acumulado de 54 muestras. Los resultados mostrados en la Figura 5.1 fueron obtenidos de acuerdo con la correlación entre el número de golpes (N) y el ángulo de fricción (ver resultados y correlación en el Anexo 6), los cuales van a indicar la resistencia al deslizamiento de un terreno.

En la Figura 5.2, se resume los resultados del análisis granulométrico, límites de Atterberg y clasificación SUCS.



**Figura 5.2** Propiedades físicas de los materiales versus la profundidad  
**Fuente:** Elaboración propia.

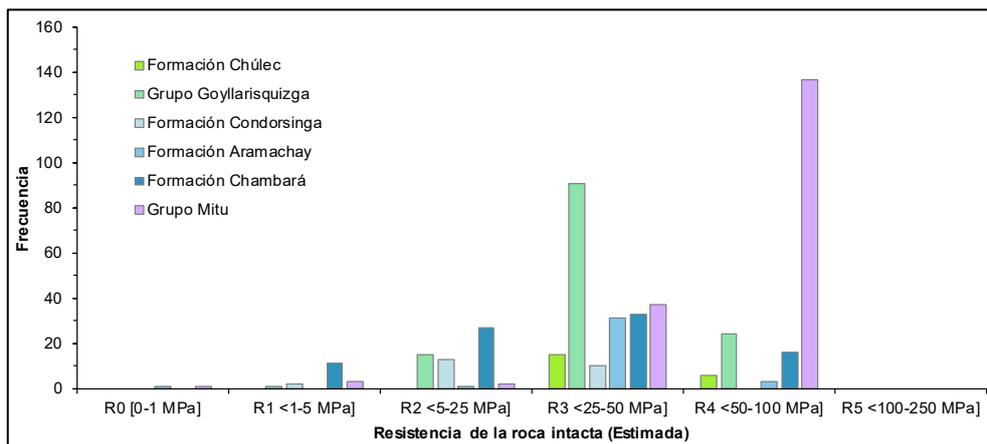
Los resultados mostrados en la Figura 5.2 han sido analizados a partir de los resultados de laboratorio en las muestras de suelo, donde se han analizado contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad y contenido de finos; dichos parámetros se han agrupado de acuerdo al tipo de suelo caracterizados en los sondeos como: turba, depósito lacustre y depósito glaciar; los cuales alcanzan a indicar las propiedades físicas tal como se encuentra el terreno in situ.

### 5.1.3 Parámetros geotécnicos del macizo rocoso

Para la caracterización de macizo rocoso y los parámetros geotécnicos, se emplearon 14 perforaciones diamantinas distribuidas en la ladera Gavilán al fondo del valle Ayamachay, en zonas de depósitos existentes y en la zona norte y este del tajo Gavilán. Con dichas perforaciones ejecutadas se logró identificar

las siguientes formaciones geológicas: Grupo Mitu, Grupo Pucará, Grupo Goyllarisquizga y Formación Chúlec.

La resistencia de la roca intacta fue estimada mediante el método manual, recomendado por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, 1981, 2007), usando el criterio de golpes de picota contra la muestra. Al Grupo Mitu se clasificó como resistencia dura (R4) estimado entre 50 a 100 MPa, en tipos de roca andesita, aglomerados volcánicos, andesita porfírica, dacita y toba; en algunos tipos de roca la resistencia se estima relativamente bajo, debido a la presencia de alteraciones y microdefectos. El Grupo Goyllarisquizga es ampliamente clasificado con resistencia moderadamente dura (R3) estimado entre 25 a 50 MPa, en tipos de roca arenisca y lutita; mientras para limoarcillitas la resistencia es blanda (R2) estimado entre 5 a 25 MPa. El Grupo Pucará, el cual está conformado por la Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga, la resistencia ha sido clasificado en promedio como moderadamente dura (R3), estimado entre 25 a 50 MPa; destacando que la Formación Chambará en 40% presenta resistencia clasificado como blanda (R2), estimado entre 5 a 25 MPa, esto por la alteración que presentan las dolomías. En la Figura 5.3, se resume la resistencia estimada a la roca intacta de las formaciones geológicas identificadas en las perforaciones diamantinas.

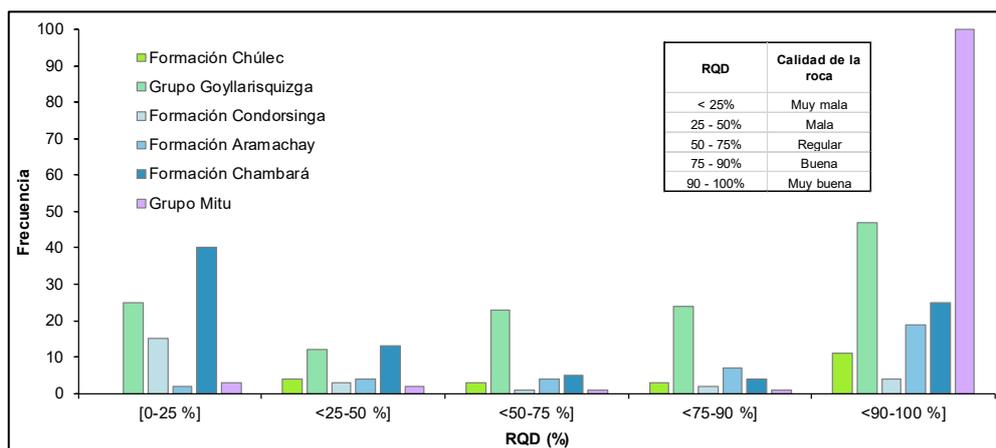


**Figura 5.3** Resistencia estimada de la roca intacta de las formaciones geológicas

**Fuente:** Elaboración propia.

El grado de fracturamiento clasificado por el valor del índice de RQD y expresado en porcentaje, se ha registrado a partir de los testigos de perforación diamantina mostrando una gran variabilidad en diferentes formaciones geológicas. Se puede destacar que la litología del Grupo Mitu, se muestra como roca masiva con valores de RQD entre 90% a 100%; mientras que la litología del Grupo Pucará se muestra como roca intensamente fracturada con valores de RQD menor a 25%.

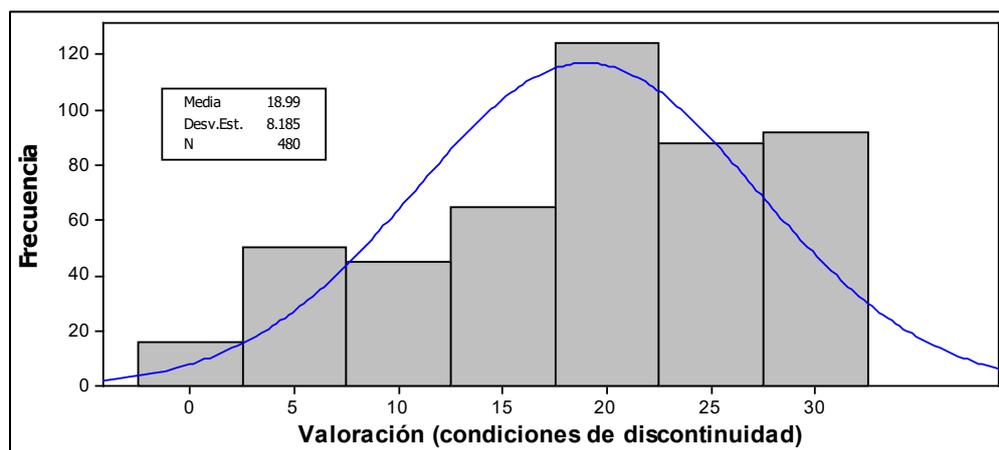
En la Figura 5.4, se muestra el resumen de los valores de RQD según los tipos de formaciones geológicas identificadas en las perforaciones diamantinas.



**Figura 5.4** Valores de RQD identificados en las perforaciones diamantinas  
**Fuente:** Elaboración propia.

En el registro de logeo geotécnico de testigos de perforación, se identificaron fracturas naturales y mecánicas. Las fracturas naturales o discontinuidades fueron identificadas según los parámetros como persistencia, abertura, rugosidad, relleno y meteorización. En ambos casos luego de la identificación, se realizó la cuantificación estadística con el fin de caracterizar la calidad del macizo rocoso.

En la Figura 5.5, se resume la condición de las discontinuidades para la clasificación geomecánica RMR89, en donde asume valores entre 0 a 30, resultando con mayor frecuencia mayor a 25; indicando que corresponde a discontinuades de superficies ligeramente rugosas, con aberturas de separación menor a 1 mm y altamente meteorizadas a ligeramente meteorizadas.

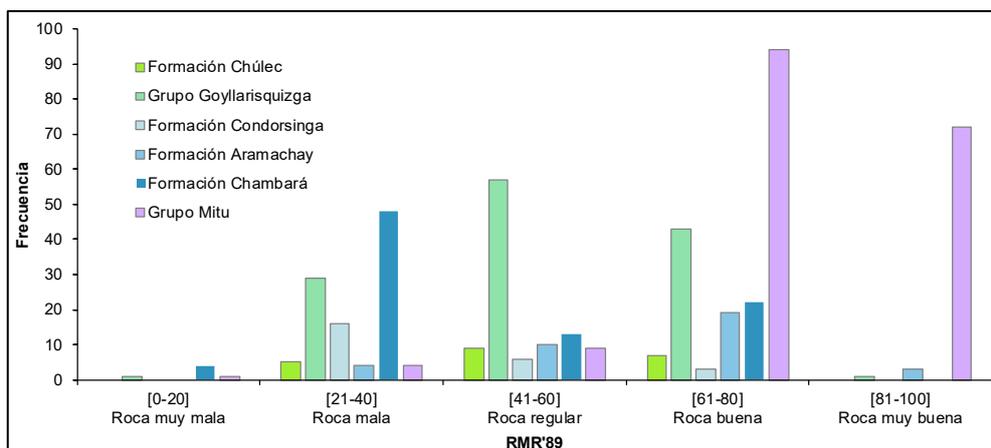


**Figura 5.5** Condición de las discontinuidades según la valoración de RMR89  
**Fuente:** Elaboración propia.

Se caracterizó la calidad del macizo rocoso mediante la clasificación geomecánica RMR, registrando para ello, los parámetros como resistencia de la roca intacta, el índice de RQD, espaciamiento entre discontinuidades, condición de las discontinuidades y la condición de agua. Los resultados fueron los siguientes:

El macizo rocoso del Grupo Mitu, resultó clasificado como de buena a muy buena calidad; en cambio el Grupo Pucará y el Grupo Goyllarisquizga, resultaron clasificados en su mayoría como de regular calidad. Cabe indicar, que la Formación Chambará que estratigráficamente se sitúa en la base del Grupo Pucará, resultó de mala calidad, debido a que su contacto con el Grupo Mitu se encuentra afectado por una falla regional.

La Figura 5.6, resume la calidad del macizo rocoso de los diferentes tipos de litología, donde se puede mostrar que la roca presenta calidad desde mala hasta buena.



**Figura 5.6** Calidad del macizo rocoso según la clasificación RMR89

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 5.1.4 Parámetros hidrogeológicos

En los 14 sondajes ejecutados, se ha realizado ensayos de conductividad hidráulica e instalación de piezómetros de tipo Casagrande, con los siguientes resultados:

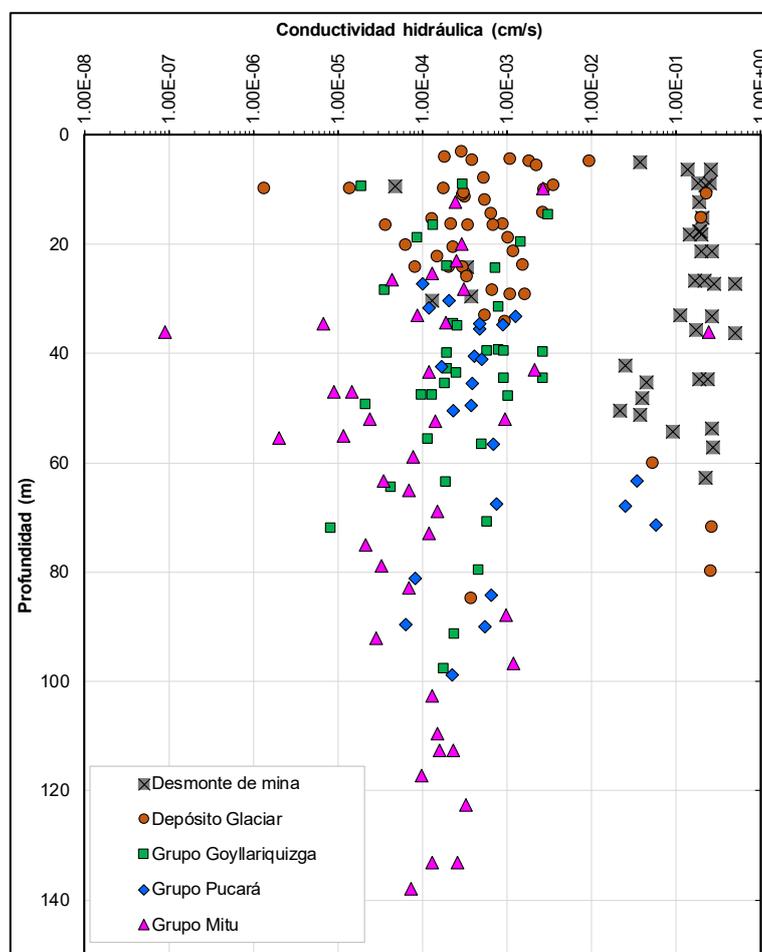
Para el Grupo Mitu, que está compuesta por Volcánicos Catalina (andesitas y tobas), una conductividad hidráulica variable entre  $2.27E-03$  a  $9.02E-08$  cm/s.

Para el Grupo Pucará y para el Grupo Goyllarisquizga, una conductividad hidráulica con valores entre  $1.00E-03$  y  $2.09E-04$  cm/s.

El depósito glaciario identificado, presenta valores de conductividad hidráulica entre  $1.00E-03$  y  $2.09E-05$  cm/s.

En el depósito de desmonte, los valores de la conductividad hidráulica son de  $1.00$  a  $1.00E-01$  (permeable).

En la Figura 5.7, se resume los valores de la conductividad hidráulica obtenido según los ensayos de permeabilidad ejecutados en las perforaciones diamantinas.



**Figura 5.7** Conductividad hidráulica evaluadas en las perforaciones diamantinas

**Fuente:** Elaboración propia.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA DE INGENIERÍA**

Para la construcción de los nuevos depósitos de relaves y desmontes en la zona de El Gavilán mediante la ampliación de los antiguos depósitos de relaves y desmonte minero de esta zona, se elaborarán los diseños de ingeniería adecuados que permitirán la ejecución de los trabajos físicos correspondientes, proyectados a obtener mayores beneficios económicos, ambientales y sociales.

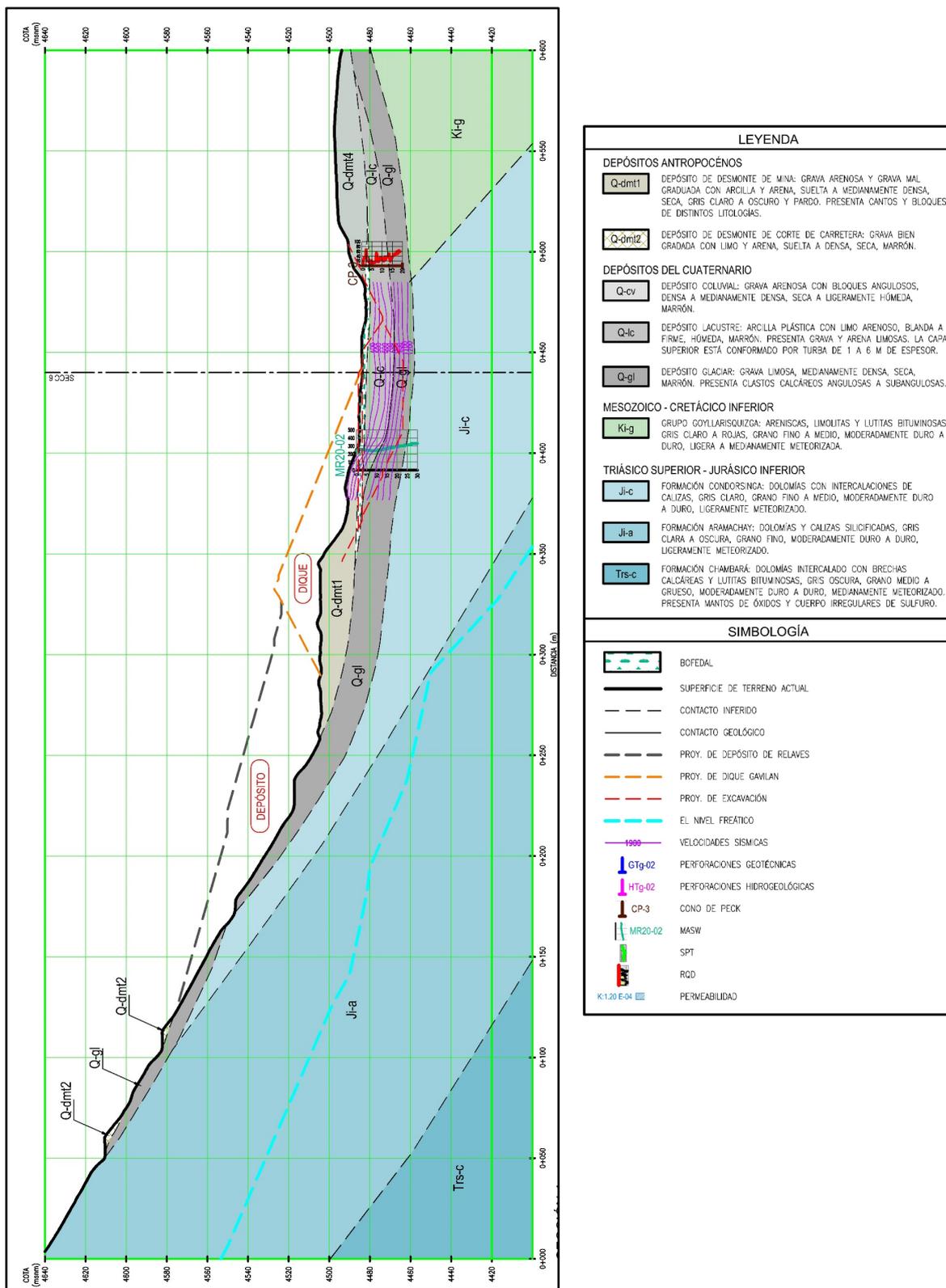
La estructura compactada de los antiguos relaves, la estructura litoestructural estable y competente del suelo natural, así como el macizo rocoso, donde estos relaves reposan, servirán de cimientos base en la construcción y almacenamiento de los nuevos depósitos de relaves y desmontes.

El pronóstico del volumen total del dique de la ladera El Gavilán es de 1 653 060 m<sup>3</sup>, siendo el material para depositar conformado por mezcla de relaves filtrados más desmonte de mina, considerando un recrecimiento. El dique sería de tipo homogéneo, protegido con geomembrana en la base y en el perfil de contacto con el vaso. En la Figura 6.1 se ilustra la proyección del dique cortado en la sección 4 interpretada, el cual se muestra a mayor detalle en el Anexo 8. El pronóstico del volumen total del vaso del depósito de la ladera El Gavilán, es de 2 640 250 m<sup>3</sup>, donde se depositará los relaves filtrados.

El pronóstico del volumen total del depósito del tajo El Gavilán, es de 3 877 100 m<sup>3</sup>, donde se depositará los relaves filtrados. En la Figura 6.2, se ilustra la proyección de la acumulación de nuevos depósitos en el tajo El Gavilán actual.

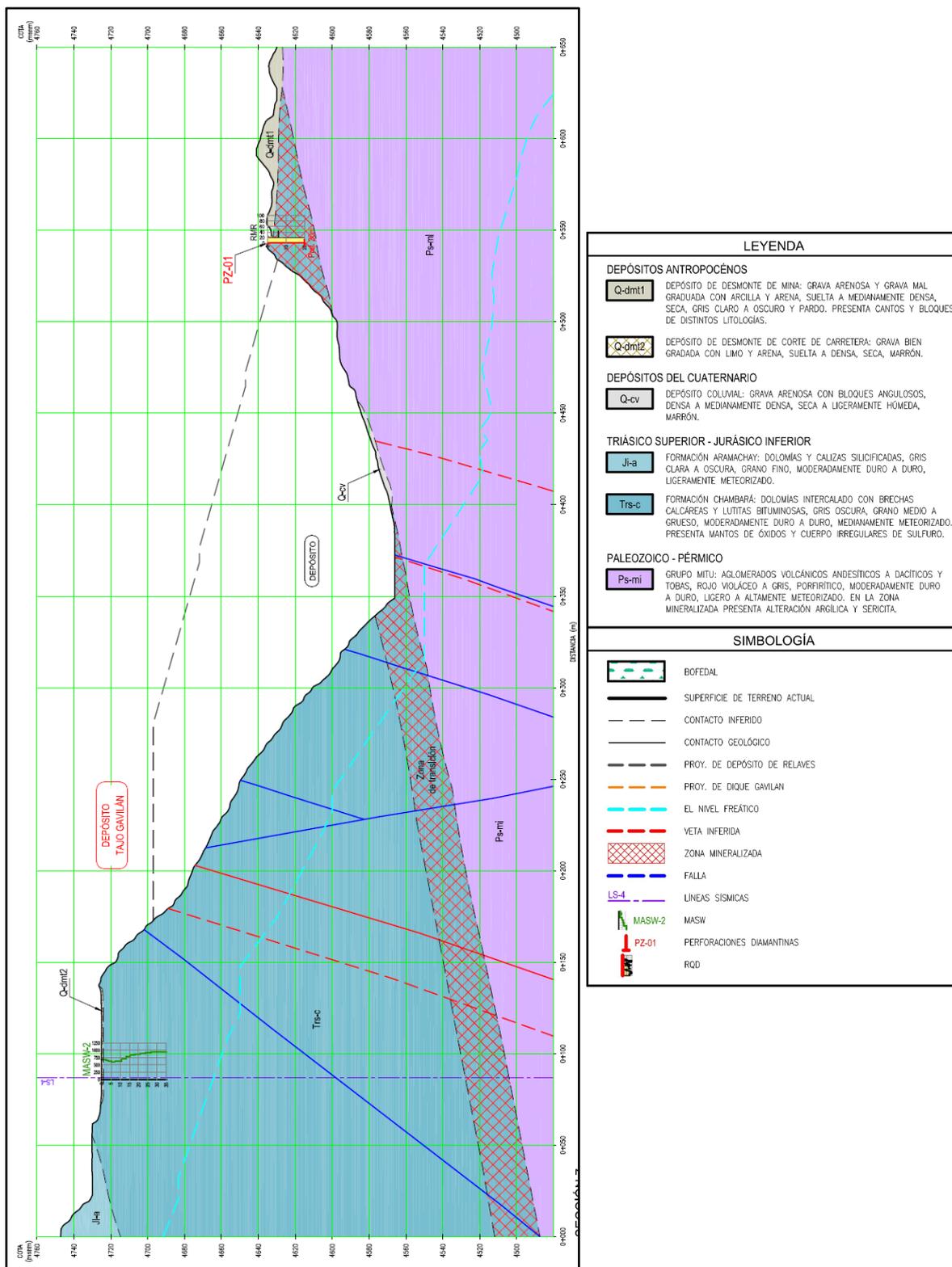
El pronóstico del volumen total del depósito de desmonte El Gavilán es de 850 442 m<sup>3</sup>, donde se depositará desmonte filtrado. En la Figura 6.3 se ilustra la proyección de nuevos depósitos de desmonte minero en la zona de la ladera El Gavilán, donde existen desmontes mineros.

De acuerdo con los volúmenes estimados en líneas anteriores para la presente propuesta, previamente el titular de la empresa, deberá evaluar los costos correspondientes a la construcción de dique y acumulación de los nuevos depósitos de relaves y/o desmontes mineros, en base al Reglamento de Cierre de Minas vigente emitido por el estado peruano.



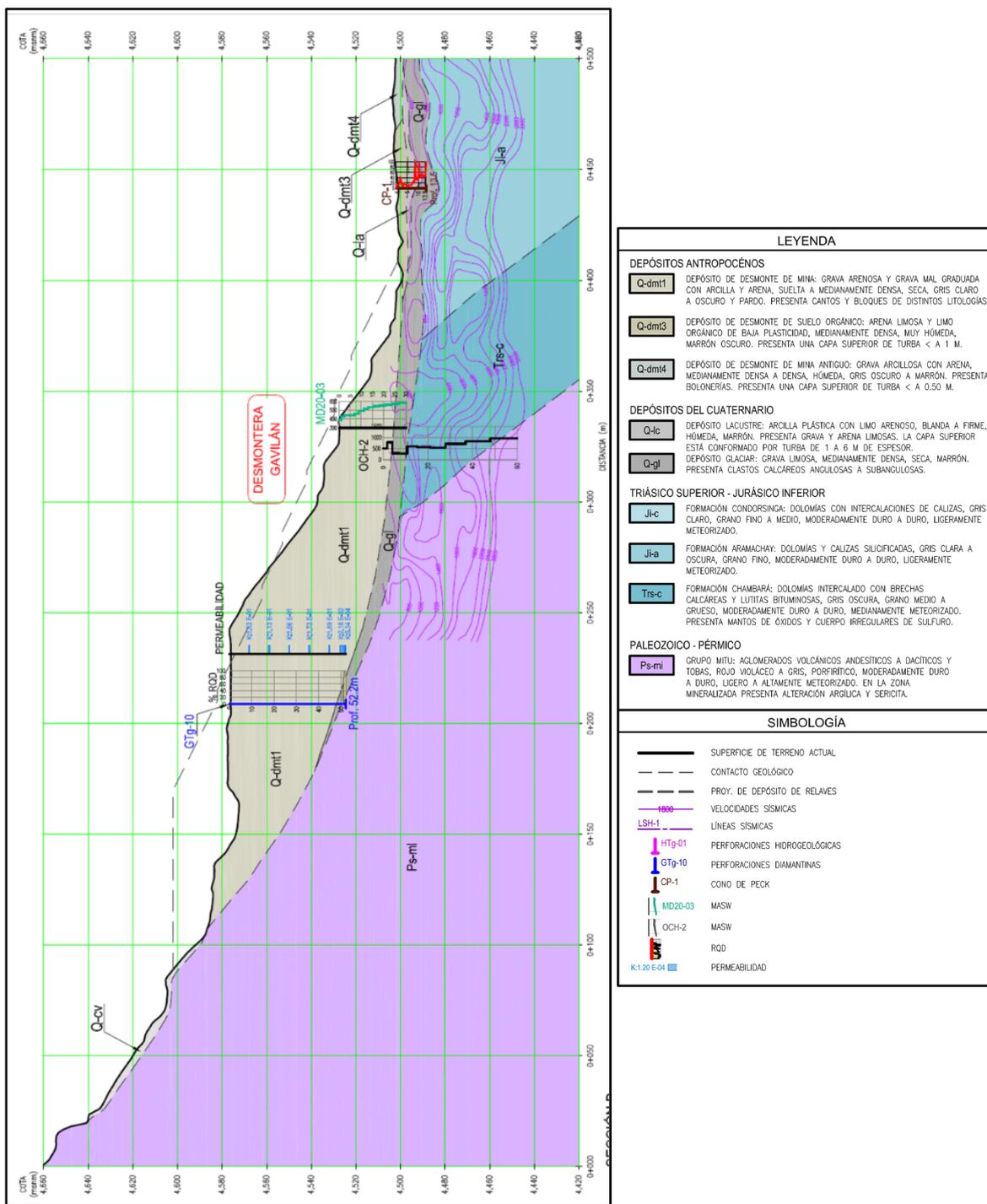
**Figura 6.1** Vista de la sección 4 donde se ilustra la proyección del dique al pie de la ladera El Gavilán, para contención de acumulación de los nuevos depósitos de relaves

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 6.2** Vista de la sección 7, ilustrando en corte transversal el tajo El Gavilán y la proyección de acumulación de los nuevos depósitos de relaves.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 6.3** Vista de la sección B, ilustrando en corte transversal la proyección de la acumulación de nuevos depósitos de desmonte minero.

**Fuente:** Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

### Conclusiones generales.

- La zona donde se proyectan las relaveras y desmonteras (Relavera y Desmontera Proyectadas), materia de la presente investigación, tiene como basamento rocoso al Grupo Mitu (Paleozoico superior) seguida por rocas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico) y Grupo Goyllarisquizga (Cretácico inferior), litológica y estructuralmente favorable. Sobreyacen a este basamento, depósitos fluvio-glaciares y lacustres, del Cuaternario; así como desmonte de mina de las últimas décadas, consolidado. En general, la caracterización geológica de esta zona, en sus componentes de petrología, de alteración y geotécnicos, corresponde a terrenos relativamente estables y resistentes.
- Entre otras caracterizaciones investigadas para el presente estudio, sustentan la estabilidad del suelo y subsuelo en los sectores donde se proyectan obras de cimentación para la relavera y desmontera, las propiedades geomecánicas definidas por el RMR, como regulares a buenas, con grado de fracturamiento por encima del 60%; así como, las pruebas con ensayos geofísicos, que indican materiales medianamente densos a densos, infiriendo que presentan una mayor resistencia.
- En la zona de Desmontera Proyectada, que es una alternativa para cimentación, el terreno está completamente apoyado sobre materiales de desmonte de mina antiguo, cuyo espesor varía desde 15 a 50 m aproximadamente con condiciones estables y resistentes. Además, no

se evidencian fenómenos geodinámicos que representen peligro de mayor magnitud, como son los deslizamientos en masa. El diseño de ingeniería para el acondicionamiento de la nueva relavera-desmontera sobre la relavera antigua, tendrá en cuenta toda la caracterización litoestratigráfica y estructural determinada mediante los ensayos y pruebas de investigación de laboratorio y campo.

#### **Conclusiones específicas.**

- Logueo: Se obtuvo los registros geológicos realizado en las 14 perforaciones diamantinas y la zonificación geotécnica, logrando identificar litologías de depósitos y formaciones geológicas, correspondientes a: Depósitos de Turba, Depósitos Lacustres, Depósitos Glaciares, Formación Chúlec, Grupo Goyllarisquizga, Grupo Pucará Pucará (Formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga) y Grupo Mitu.
- Ensayos SPT: Se realizaron 60 ensayos de SPT en 9 sondajes denominados: GTg-02, GTg-03, GTg-04, HTg-01, HTg-02, HTg-03, HTg-04, HTg-05 y HTg-06, con el fin de caracterizar la resistencia del suelo y a la vez ejecutar ensayos de laboratorio a partir de las muestras obtenidas.
- Ensayos de permeabilidad: Se realizaron 153 ensayos de permeabilidad para la caracterización de la conductividad hidráulica. En el Grupo Mitu varía de  $2.27E-03$  a  $9.02E-08$  cm/s. Mientras que el Grupo Pucará y el Grupo Goyllarisquizga, la conductividad hidráulica tiene el mismo comportamiento que varía desde  $1.00E-03$  y  $2.09E-04$  cm/s. Para el

depósito glacial la conductividad hidráulica varía de  $1.00E-03$  y  $2.09E-05$  cm/s. En definitiva, el macizo rocoso y el suelo natural presentan media a baja permeabilidad. No obstante, el depósito de desmonte presenta conductividad hidráulica de 1.00 a  $1.00E-01$ , es decir, es de características permeables.

- **Piezómetros:** Se realizó la instalación de piezómetros de tipo tubo abierto o Casagrande, los cuales fueron instalados en los 14 sondajes. De las cuales, en 7 sondajes (GTg-02, GTg-11, HTg-01, HTg-02, HTg-03, HTg-05 y HTg-06) se instaló piezómetro doble (multinivel) y en 7 sondajes (GTg-03, GTg-04, GTg-10, GTg-12, GTg-13, GTg-14 y HTg-04) piezómetro simple. En los piezómetros GTg-04, GTg-10, GTg-11, GTg-12, GTg-13 y GTg-14 no registran agua, se encuentran condiciones secas. Mientras en los piezómetros GTg-02, GTg-03, HTg-01, HTg-04 el nivel freático se encuentra a 4469.93, 4471.31, 4475.42 y 4589.15 m.s.n.m. respectivamente. Por un lado, en los piezómetros dobles HTg-02, HTg-03 y HTg-05 registran dos niveles de agua. Sin embargo, en el piezómetro doble HTg-06 existe agua artesiana que tiene flujo de 1 a 3 litros por segundo.
- **Clasificación SUCS:** La turba se clasifica según SUCS como ML y SM de consistencia muy suelta y el ángulo de fricción estimada varía de  $26^\circ$  a  $27^\circ$ . El depósito lacustre se clasifica según SUCS como CL-ML, CL, SC, ML y SM con consistencia variable de muy suelta, suelta y firme, el ángulo de fricción varía de  $28^\circ$  a  $35^\circ$ . Mientras, el depósito glacial es muy variable y según SUCS se clasifica como GC-GM, SC-

SM, SM y en algunos horizontes finos ML y MH, la compacidad y consistencia también es variable, pero en su mayoría se encuentra densa, firme y muy firme; el ángulo de fricción varía de 28° a 43° y como promedio 33°.

- Clasificación RMR: El macizo rocoso del Grupo Mitu resultó de buena a muy buena calidad, mientras que los Grupos Pucará y Goyllarisquizga en su mayoría el macizo rocoso es de calidad regular (RMR de 41-60). No obstante, la formación Chambará resultó de mala calidad (RMR de 21-40); y se justifica que esta Formación se encuentra en contacto con el Grupo Mitu y además es afectado por la falla regional.
- Clasificación RQD: La litología del Grupo Mitu se muestra como roca masiva con valores de RQD entre 90 a 100%, mientras que rocas del Grupo Pucará se muestra intensamente fracturada con valores de RQD menor a 25%. Las rocas del Grupo Goyllarisquizga muestran regular a muy buena calidad.
- Refracción sísmica: Se realizaron 22 líneas de refracción sísmica en la zona de los Depósitos de Relaves Proyectado, mostrando resultados de materiales medianamente denso a muy denso y en algunos casos interpretado como roca muy fracturada. En la zona de la Desmontera Proyectada se realizaron 12 líneas de refracción sísmica mostrando resultados de material granular denso a roca muy fracturada, en algunos casos material granular suelto. Las profundidades de exploración geofísica alcanzaron entre 25 y 30 m.

- MASW: En la zona de Depósitos de Relaves Proyectado se realizaron 6 ensayos de MASW y muestran resultados de material denso a roca muy fracturada, alcanzando profundidades de hasta 30 m de exploración. En la zona de Desmontera Proyectada se realizaron 4 ensayos de MASW mostrando resultados de material granular medianamente denso hasta roca muy fracturada, del mismo modo se alcanzó profundidades de exploración de hasta 30 m.

## RECOMENDACIONES

- En base a los resultados de las investigaciones geotécnicas realizadas para el presente estudio, se recomienda elaborar el proyecto de Relavera- Desmontera, consistente en el diseño de ingeniería y la ejecución de las obras civiles correspondientes.
- En caso se requiera ampliar estudios de investigaciones geológicas y geotécnicas de micro detalle, adicionales a los realizados y expuestos en la presente investigación, se recomienda poner mayor énfasis en la caracterización del suelo natural y del macizo rocoso, realizando una campaña adicional de perforaciones geotécnicas-hidrogeológicas.
- Durante la acumulación de los depósitos de relaves y desmonte mina, realizar controles frecuentes de asentamientos del terreno, mediante la instalación de piezómetros-inclinómetros, con la finalidad de medir los cambios del nivel freático y las posibles deformaciones del terreno.
- Luego de la acumulación de los depósitos de relaves y desmonte de mina, efectuar como controles permanentes, estudios de diseño de estabilidad física mediante análisis de diseños geotécnicos de estructuras, para determinación del factor de seguridad; análisis de parámetros de campo como la geometría de terreno, parámetros de resistencia y mecanismos de falla.

En la zona Depósitos de Relaves Proyectado, realizar evaluaciones geotécnicas antes y durante la acumulación de relaves. Adicionalmente, para llevar el control permanente de la estabilidad, se deberá instrumentar con radares el

monitoreo automático mediante la instalación de primas de control topográfico.

- En la zona Depósitos de Relaves Proyectado, se recomienda la remoción de suelos blandos, para lograr una adecuada estabilización; además la construcción de un sistema de drenaje, para evitar los surcos de erosión.
- En la zona de Desmontera Proyectada, construir canales de drenaje con programas de mantenimiento y en otros sectores el mejoramiento de su estructura.
- Efectuar un diseño de sistema de impermeabilización en las zonas nuevas de disposición de relaves y desmontes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, M. L. (2016). *Métodos de prospección geofísica aplicados a la investigación geotécnica para estudio del recrecimiento de una presa de relaves en el distrito de Oyolo*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Apaza, Y. P (2016). *Evaluación geológica y geotécnica para la ampliación de la presa Ancascocha en la cuenca Yauca, Ayacucho-Arequipa*. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering rock mass rating. A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Cánada: John Wiley & Sons, Inc.
- Braja, M. D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Cuarta ed.). México: Cengage Learning Editores S.A.
- Burt, G. L. (2007). *Handbook of geotechnical investigation and design tables*. Reino Unido: Taylor & Francis Group.
- Cáceres, L. A. y Lipa, C. F. (2019). *Estudio geológico-geotécnico de la factibilidad para la construcción de la presa Prado Esperanza, distrito Pallapata, provincia de Espinar-Departamento de Cuzco*. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Devincenzi, M. y Frank, N. (2004). *Ensayos geotécnicos in situ, su ejecución e interpretación*. Lima, Perú: INGEOTEST.
- Goicochea, R. J. (1984). *Prospección geotécnica en ejes de presa mediante sondajes diamantinos aplicación: Presa Lindachara*. Lima, Perú: Universidad Nacional

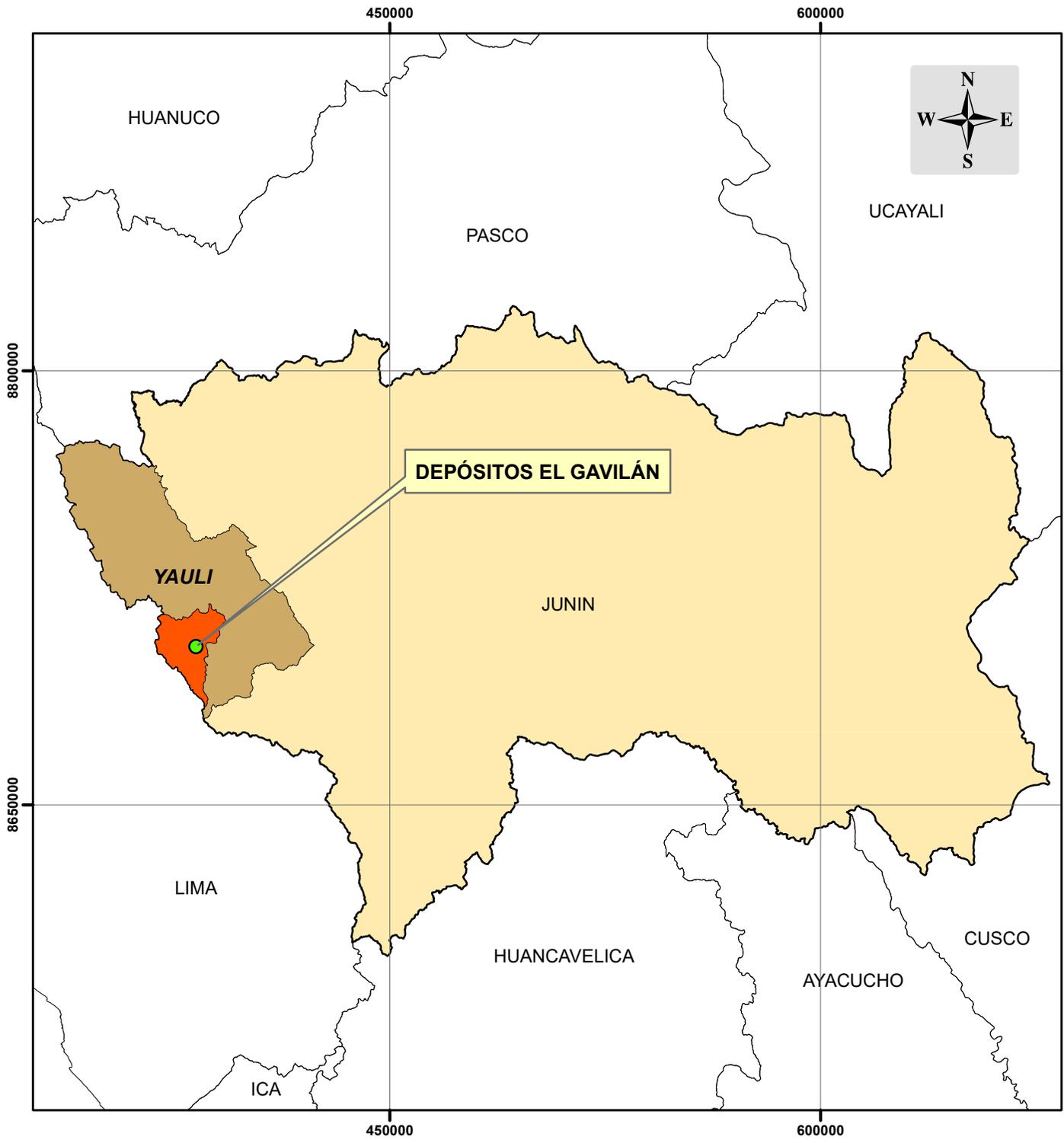
- Agraria La Molina. Gonzáles de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geológica* (Primera ed.). España: Pearson Education S.A.
- Herrera, H. J. y Castilla, G. J. (2012). *Utilización de técnicas de sondeos en estudio geotécnicos*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Houlsby, A.C. (1977). *Engineering of grout curtains to standards*. Proceedings American Society Civil Engineers, Geotechnical Engineering Division, 103, 953–970.
- Hunt, R. E. (2007). *Geotechnical Investigation Methods, a field for geotechnical engineers*. E.E.U.U.: CRC Press.
- Juárez, B. E. y Rico, R. A. (2005). *Mecánica de suelos. Tomo 1 Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.
- Krynine, D. P. y Judd, W. R. (1980). *Principios de geología y geotecnia para ingenieros*. (Quinta ed.). Barcelona, España: Ediciones Omega S.A.
- Ministerio de Energía y Minas (2019). *Anuario minero del Perú*. Perú: Ministerio de Energía y Minas.
- Ministerio de Minería (2020). *Construcción y operación de relaves*. Chile: SERNAGEOMIN.
- Ministerio de Minería (2020). *Permiso para botaderos de estériles o acumulación de mineral*. Chile: SERNAGEOMIN.
- Moya, G. A. et. al. (2020). *Caracterización de sitio empleando prospección geofísica y geotécnica. Caso de estudio vía principal Troncal Central del Norte (Ruta Nacional 55) a la altura del km 68+500 en el Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Colombia*. Revista Boletín de Ciencias de la Tierra, 48, pp. 30-45.

- Oñate, C. C. (2020). *Caracterización geológica y geotécnica para el depósito de relaves en el área Hijueta 10, provincia de Huasco, región de Atacama, Chile*. Chile: Universidad de Concepción.
- Ortiz, S. et. al. (2011). *Diseño de disposición conjunta de relaves y desmonte en la mina Yauricocha*. Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM, 14, pp. 37-46.
- OSINERGMIN (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, supervisión y cierre de las labores subterráneas*. Perú: OSINERGMIN.
- Pesántez, A. J. (2014). *Caracterización geológica y geotécnica en el área minea El Corazón, para el diseño de una relavera*. Macas, Ecuador: Escuela Politécnica de Chimborazo.
- Read, J. y Stacey, P. (2009). *Guidelines for open pit slope design*. Australia: CSIRO.
- Reyes, P. A. (2015). *Análisis tridimensional de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite de un depósito de desmonte mina*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rivas, S. L. (2013). *Evaluación de relavera antigua con propósito de usarlos como botadero de desmonte de mina para un plan de cierre*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Salazar, D. H. (1983). *Boletín N° 36. Geología de los cuadrángulos de Matucana y Huarochirí. Hojas 24-k y 25-k*. Lima, Perú: INGEMMET.
- Surrol, C. J. (1995). *Geotecnia. Reconocimiento del terreno*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

Suyo, R. E. (2017). *Modelo de investigaciones geológicas y geotécnicas para definir la cimentación de estructuras de línea de transmisión eléctrica*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**PLANO DE UBICACIÓN DE LOS DEPÓSITOS EL**  
**GAVILÁN**

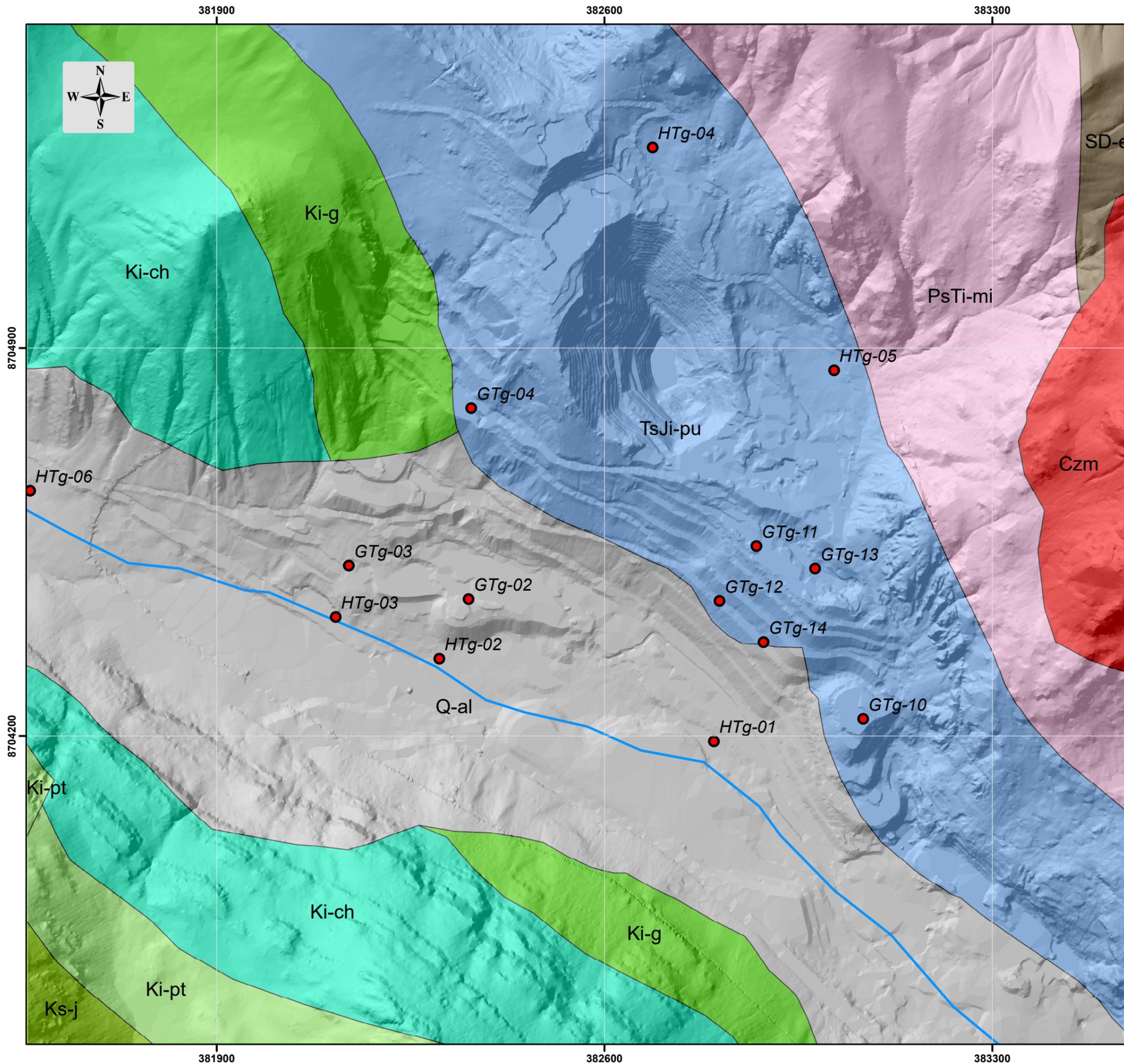


**Leyenda**

- Distrito de Yauli

	Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica	<b>UNIVERSIDAD          NACIONAL DE          INGENIERÍA</b>
	<b>Ubicación geográfica de la zona de depósitos de relaves y desmonte mina          existentes "El Gavilán"</b>	
Escala: 1:2,000,000	Datum: WGS84 Zona: 18S UTM	Realizado por: Bach. Carlos Delgado Herrera

**ANEXO 2**  
**MAPA GEOLÓGICO REGIONAL**



**UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS**

Símbolo	Litología
Q-al	<b>Depósito aluvial:</b> Conglomerados, cantos de rocas intrusivas y volcánicas, gravas subagulosas e intercalado con arenas limos y arcillas.
Czm	<b>Cuarzo-monzonita</b>
Ks-j	<b>Formación Jumasha:</b> Calizas micríticas grises y calizas nodulares
Ki-pt	<b>Formación Pariatambo:</b> Lutitas grises a negras, calizas bituminosas nodulares
Ki-ch	<b>Formación Chúlec:</b> Calizas arenosas, areniscas calcareas en capas medianas, coloraciones parduzcas a beige.
Ki-g	<b>Grupo Goyllarisquiza:</b> Areniscas cuarzosas blanquecinas, limoarcillitas grises y niveles de carbón.
TsJi-pu	<b>Grupo Pucará:</b> Calizas gris azulinas en bancos medios a gruesos con nodulos de chert.
PsTi-mi	<b>Grupo Mitu:</b> Areniscas conglomerados, brechas, lavas y tobas de cenizas
SD-e	<b>Grupo Excelsior:</b> Filitas con intercalaciones de cuarcitas de color gris oscuro, metatufos y marmoles.

**Leyenda**

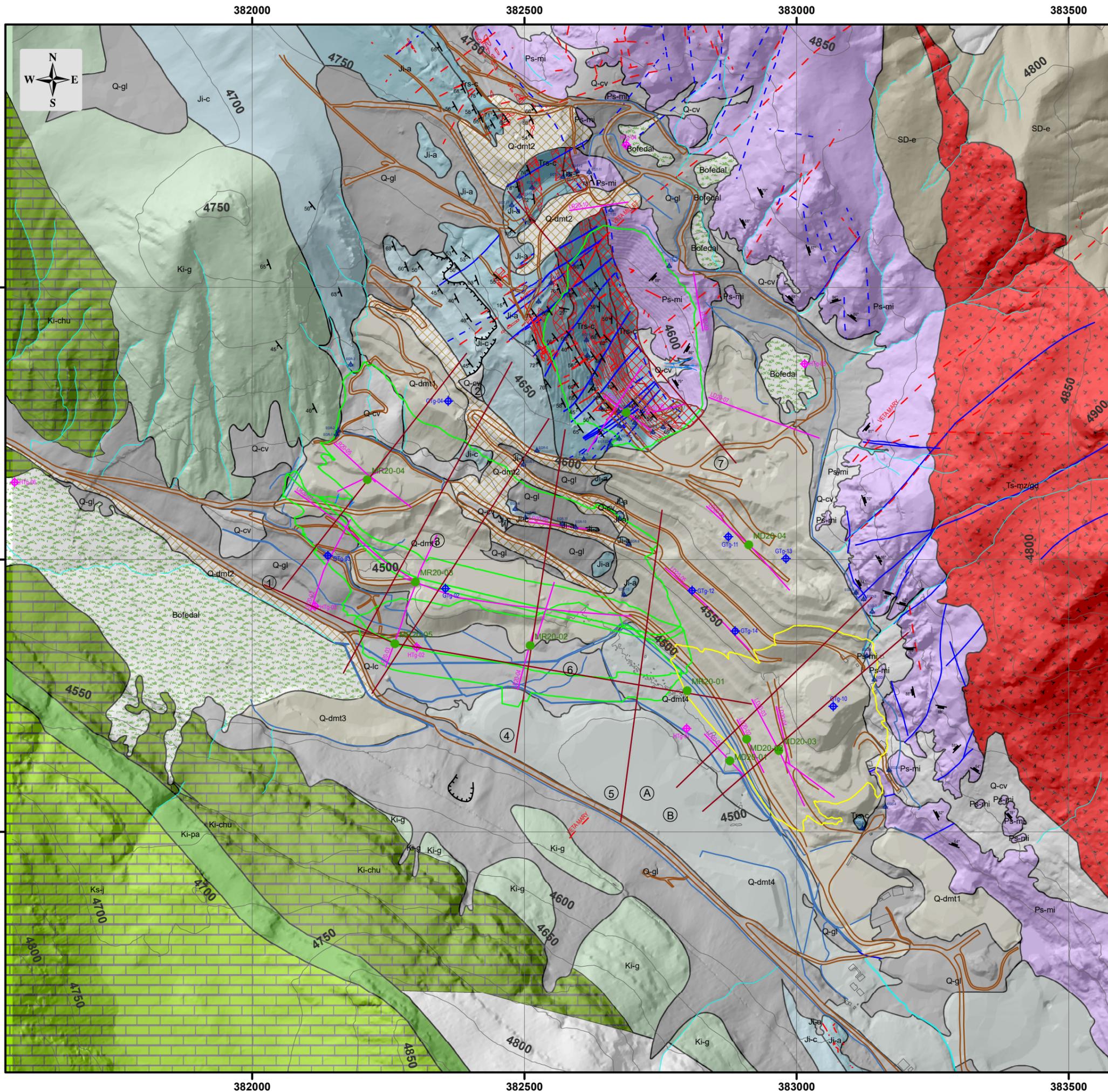
- Perforaciones geotécnicas e hidrogeológicas
- ~ Quebrada Ayamachay

Referencia:  
INGEMMET: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Matucaca. Hoja 24-k1



	Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica	<b>UNIVERSIDAD                  NACIONAL DE                  INGENIERÍA</b>
	<b>Geología regional de la zona de depósitos de relaves y desmonte mina existentes "El Gavilán"</b>	
Escala: 1:7000	Datum: WGS84 Zona: 18S UTM	Realizado por: Bach. Carlos Delgado Herrera

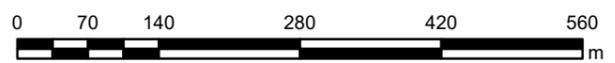
**ANEXO 3**  
**MAPA GEOLÓGICO LOCAL**



**SIMBOLOGÍA**

- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES
- BOFEDAL
- CARRETERA
- QUEBRADA
- CANAL
- SURCOS DE EROSIÓN
- CARCAVAS DE EROSIÓN
- DEPÓSITO DE RELAVE
- DEPÓSITO DE DESMONTE
- ESCARPA DE EROSIÓN
- FALLA
- FALLA INFERIDA
- PERFORACIONES GEOTÉCNICAS
- PERFORACIONES HIDROGEOLOGICAS
- ESTACIONES GEOMECÁNICAS
- RUMBO Y BUZAMIENTO DE DIACLASAS
- RUMBO Y BUZAMIENTO DE ESTRATOS
- MASW
- LÍNEAS SÍSMICAS
- LÍNEAS DE SECCIÓN
- ZONA MINERALIZADA
- CONSTRUCCIÓN EXISTENTE
- VETA
- VETA INFERIDA

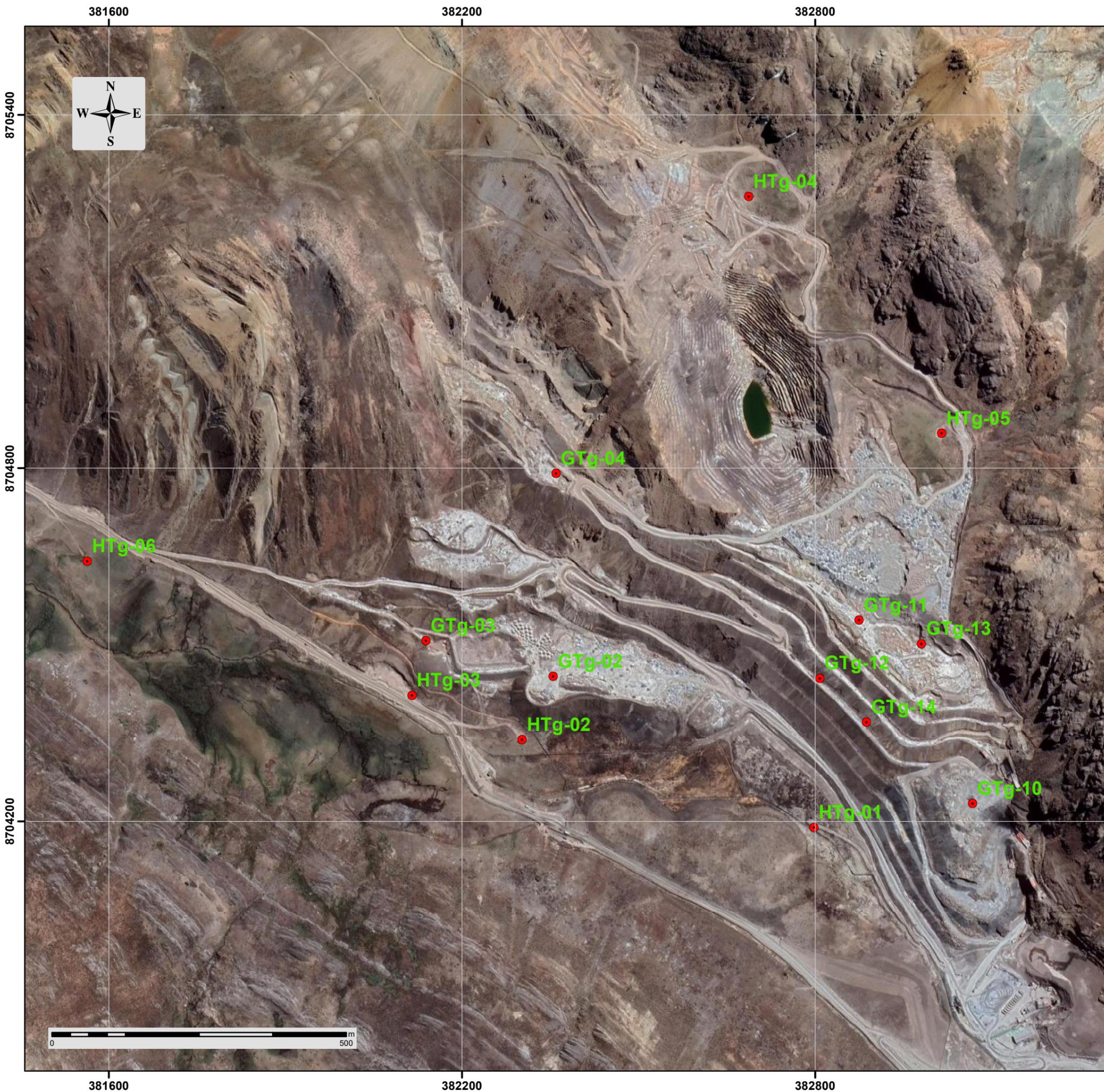
UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	
SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA
Q-dmt1	Desmonte de mina, grava arenosa y grava mal gradada con arcilla y arena
Q-dmt2	Desmonte de corte de carretera, grava bien gradada con limo y arena
Q-dmt3	Desmonte de suelo orgánico, arena limosa y limo orgánico
Q-dmt4	Desmonte mina antiguo, grava arcillosa con arena
Q-cv	Depósito coluvial, grava arenosa con bloques angulosos
Q-lc	Depósito lacustre, arcilla plástica con limo arenoso
Q-gl	Depósito glaciar, grava limosa
Roca Intrusiva Tz-mz/gd	Pórfido cuarzo monzonítico
Fm. Jumasha Ks-j	Calizas
Fm. Pariatambo Ki-pa	Margas y calizas
Fm. Chúlec Ki-chu	Calizas arenosas, areniscas calcáreas
Gp. Goyllarisquiza Ki-g	Areniscas, limolitas y lutitas bituminosas
Fm. Condorsinga Ji-c	Dolomías con intercalaciones de calizas
Fm. Aramachay Ji-a	Dolomías y calizas silicificadas
Gp. Pucará Fm. Chamberá Trs-c	Dolomías intercaladas con brechas calcáreas y lutitas bituminosas
Gp. Mitu Ps-mi	Agglomerados volcánicos andesíticos a dacíticos y tobas
Gp. Excélsior SD-e	Filitas y esquistos



	Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b>
<b>Geología local de la zona de depósitos de relaves y desmonte mina existentes "El Gavián"</b>		
Escala: 1:7000	Datum: WGS84 Zona: 18S UTM	Realizado por: Bach. Carlos Delgado Herrera

## **ANEXO 4**

# **PLANO DE UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES GEOTÉCNICAS E HIDROGEOLÓGICAS**



**Leyenda**

- Peforaciones geotécnicas e hidrogeológicas

Sondaje	Coordenadas UTM	
	Este	Norte
GTg-02	382354.99	8704446.72
GTg-03	382138.92	8704507.19
GTg-04	382359.94	8704791.23
GTg-10	383067.37	8704230.63
GTg-11	382874.68	8704542.25
GTg-12	382807.93	8704443.22
GTg-13	382980.57	8704501.82
GTg-14	382887.30	8704368.99
HTg-01	382798.00	8704190.00
HTg-02	382302.25	8704339.11
HTg-03	382115.34	8704414.41
HTg-04	382687.25	8705261.65
HTg-05	383014.97	8704859.58
HTg-06	381563.61	8704642.16



Facultad de Ingeniería  
Geológica Minera y  
Metalúrgica

**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
INGENIERÍA**

**Ubicación de las perforaciones geotécnicas e hidrogeológicas en la zona de depósitos de relaves y desmonte mina existentes "El Gavilán"**

Escala:	Datum: WGS84	Realizado por: Bach. Carlos Delgado Herrera
1:6500	Zona: 18S UTM	

**ANEXO 5**  
**REGISTROS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS**



**COORDENADAS:** 382354.99, 8704446.72  
**COTA TERRENO:** 4504.82 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 50 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=29.00m, II=49.80 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 24/08/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 27/08/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-11  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 34.89 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD

PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLOGÍA		RECUP. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	ENSAY. SPT (N60)	RESUL. DEL LAB.	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN								
0	Caja 1		GC (0.00m - 3.00m); grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, seco, medianamente denso, color marrón oscuro. Con presencia de grava angular de T <sub>máx</sub> =2.0". Grava=50%; Arena=15%; Finos=35%. Depósito antrópico (Q-an).								4504
2											4502
4	Caja 2		GC-GM (3.00m - 9.90m); grava arcillosa con limo y arena, finos de plasticidad media a alta, seco, medianamente densa a densa, color gris a marrón. Con presencia de grava angular de T <sub>máx</sub> =2.2". Grava=45% a 50%; Arena=15% a 20%; Finos=35%. Depósito antrópico (Q-an).				5.86E+00	N=7		← GROUTING	4500
6											4498
8	Caja 3										4496
10	Caja 4		GC-GM (9.90m - 14.90m); grava limo arcillosa con arena, finos de plasticidad baja, húmedo, medianamente densa a densa, color marrón. Con presencia de grava angular de T <sub>máx</sub> =2.5". Grava=42%; Arena=30%; Finos=28%. En la profundidad 9.90 a 10.30 m se presenta un horizonte de suelo orgánico (turba). Depósito glaciario (Q-gl).				6.82E+00	N=26			4494
12										← TUBERÍA DE PVC 1"	4492
14	Caja 5								GC-GM		4490
16	Caja 6		GC (14.90m - 18.45m); grava arcillosa con arena, finos de plasticidad media, húmedo, medianamente densa a densa, color marrón claro. Con presencia de grava angular de T <sub>máx</sub> =2". Grava=60% a 65%; Arena=20% a 25%; Finos=10% a 20%. Depósito glaciario (Q-gl).				6.85E+00	N=9			4488
18										← TUBERÍA DE PVC 1 1/4"	4486
20	Caja 7		SC-SM (18.45m - 23.30m); arena limo arcillosa, finos de plasticidad baja, húmedo, medianamente densa, color marrón. Con presencia de grava angular y subangular de T <sub>máx</sub> =2.5". Grava=35%; Arena=40%; Finos=25%. Depósito glaciario (Q-gl).				7.56E-05	N=12		← SELLO DE BENTONITA	4484
22											4482
24	Caja 8		GW-GM (23.30m - 26.50m); grava bien gradada con limo y arena, finos de plasticidad baja, húmedo, medianamente densa a densa, color marrón oscuro. Con presencia de grava subangular de T <sub>máx</sub> =2.8". Grava=60% a 70%; Arena=20% a 30%; Finos=5% a 10%. Depósito glaciario (Q-gl).				3.26E-04	N=3			4480

**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 382354.99, 8704446.72  
**COTA TERRENO:** 4504.82 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 50 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=29.00m, II=49.80 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 24/08/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 27/08/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-11  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 34.89 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD.

PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLOGÍA		RECUP. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	ENSAY. SPT (N60)	RESUL. DEL LAB.	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN								
26	Caja 9										
28	Caja 10	SC-SM	(26.50m - 32.00m); arena limo arcillosa, finos de plasticidad media, húmedo, medianamente densa a densa, color marrón. Con presencia de grava angular a subangular de T <sub>máx</sub> =2.5". Grava=28.9%; Arena=34.5%; Finos=36.6%. Depósito glacial (Q-gl).					N=14	SC-SM	ARENA DE CUARZO 1/16"	4478
30	Caja 11						1.19E-03			TRAMO RANURADO REVESTIDO CON GEOTEXTIL	4476
32	Caja 12	CL	(32.00m - 34.90m); arcilla inorgánica de plasticidad baja a media, húmedo, consistencia firme, color gris oscuro. Con presencia de grava subangular de T <sub>máx</sub> =1.5". Grava=8.3%; Arena=19.6%; Finos=72.1%. Depósito lacustre (Q-lc).					N=3		SELLO DE BENTONITA	4474
34	Caja 13						8.52E-04		CL		4472
36	Caja 14	Caliza	(34.90 - 36.40 m); color gris, resistencia muy blanda (R0-R1), completamente meteorizada (W5) comportamiento a suelo. El estrato corresponde a la zona de transición. Formación Condorsinga.				6.24E-04			NF=34.89	4470
38	Caja 15	Caliza	(36.40 - 39.80 m); color gris, resistencia moderadamente dura a blanda (R3-R2), moderada a altamente meteorizada (W3-W4), moderadamente fracturada (F3). Presentan juntas planas rugosas con relleno de material blando. Formación Condorsinga.								4468
40	Caja 16	Caliza	(39.80 - 48.70 m); color gris, resistencia muy blanda a blanda (R1-R2), alta a completamente meteorizada (W4-W5), triturado (F5). Formación Condorsinga.				5.87E-04				4466
42	Caja 17									ARENA DE CUARZO 1/16"	4464
44	Caja 18										4462
46	Caja 19						5.21E-04			TRAMO RANURADO REVESTIDO CON GEOTEXTIL	4460
48	Caja 20										4458
50	Caja 21	Dolomia	(48.70 - 50.00 m); color gris, resistencia moderadamente dura a blanda (R3-R2), moderada a altamente meteorizada (W3-W4), moderadamente fracturada (F3). Presentan juntas planas rugosas con relleno de material blando menor a 5 mm. Formación Condorsinga.				4.55E-04			CAMA DE ARENA DE CUARZO 1/16"	4456

**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 383067.37, 8704230.63  
**COTA TERRENO:** 4576.65 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 52.20 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** 48 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 3/10/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 7/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-11  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** No existe  
**REGISTRADO POR:** CD

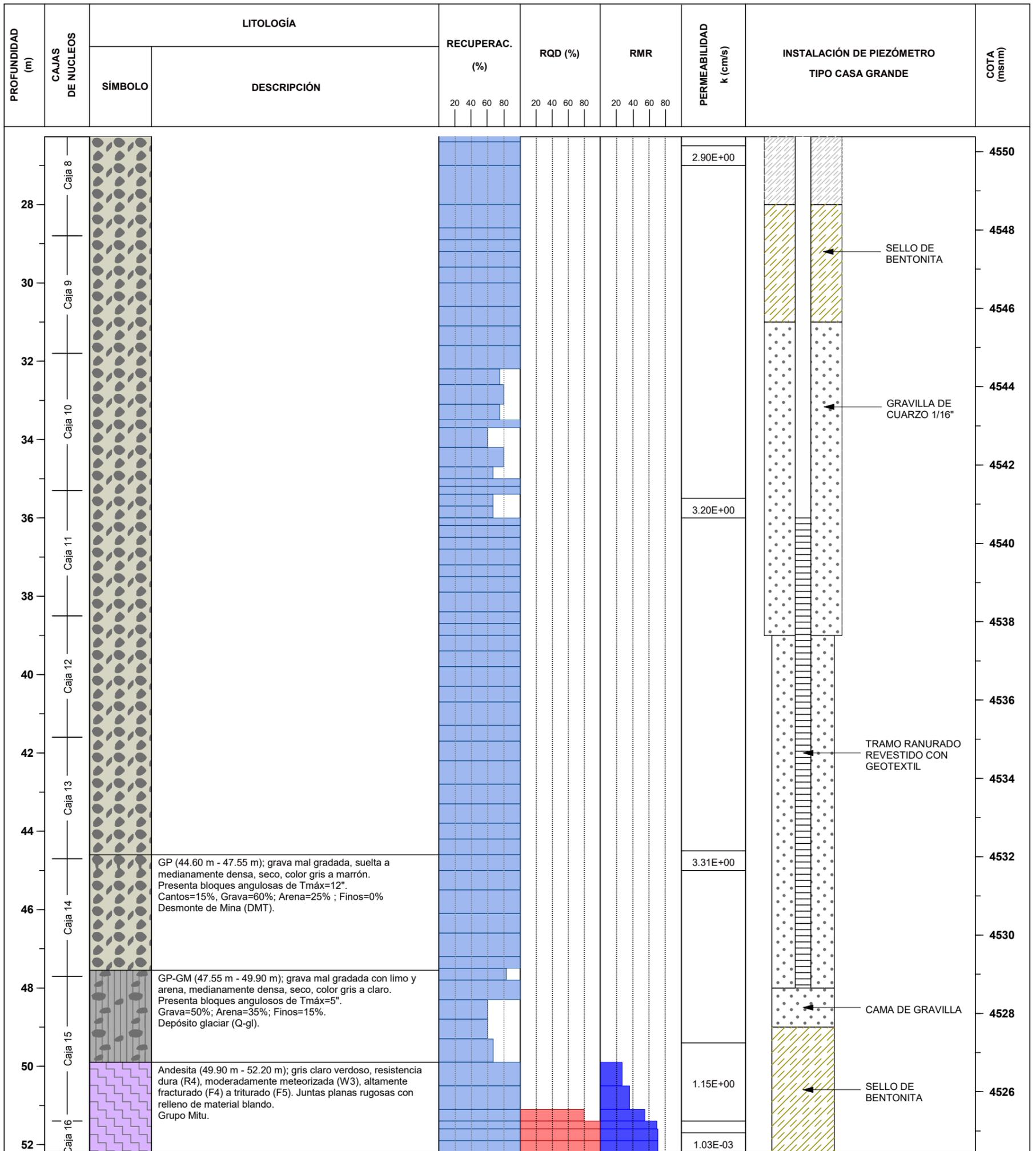
PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLÓGIA		RECUPERAC. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN						
0	Caja 1	GP	GP (0.00 m - 5.00 m); grava mal gradada con arena, muy suelta, seco, color gris claro. Presenta cantos angulosos de T <sub>máx</sub> =7". Cantos=10%; Grava=70%; Arena=15%, Finos=5%. Desmonte de Mina (DMT).						4576
2									4574
4	Caja 2	GP	GP (5.00 m - 44.60 m); grava mal gradada, suelta, seco, color gris marrón. Presenta cantos angulosos de T <sub>máx</sub> =6". Cantos=10%; Grava=70%; Arena=15%; Finos=5%. En la profundidad 27.30 m a 28.00 presenta un bloque de roca 24" de diámetro. El material esta compuesto por rocas volcánicas, calizas y dolomía. Desmonte de Mina (DMT).						4572
6									
8	Caja 3	GP					3.20E+00		4568
10									
12	Caja 4	GP							4564
14									
16	Caja 5	GP							4560
18									
20	Caja 6	GP					2.90E+00		4556
22									
24	Caja 7	GP							4552
26									

**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 383067.37, 8704230.63  
**COTA TERRENO:** 4576.65 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 52.20 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** 48 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 3/10/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 7/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-11  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** No existe  
**REGISTRADO POR:** CD.

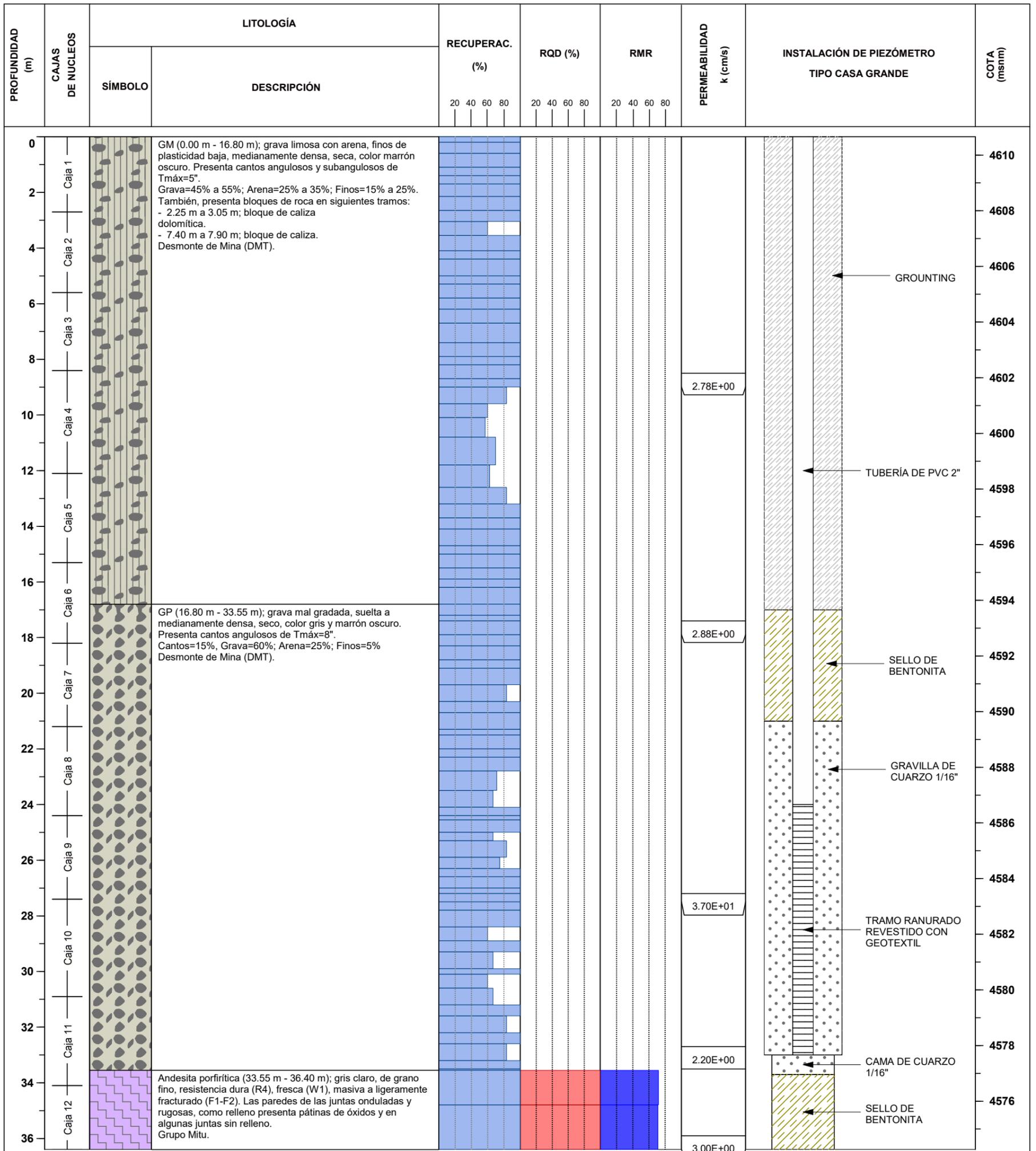


**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 382980.57, 8704501.82  
**COTA TERRENO:** 4610.66 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 36.40 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** 33 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 5/10/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 11/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-04  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** No existe  
**REGISTRADO POR:** CD



**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 382302.25, 8704339.11  
**COTA TERRENO:** 4478.43 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 100 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=99.50 m, II=27.50 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 28/09/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 5/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-04  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 5.11 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD

PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLOGÍA		RECUP. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	ENSAY. SPT (N60)	RESUL. DEL LAB.	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN								
0	Caja 1	ML	(0.00 m - 1.50 m); limo arenoso con grava, finos de plasticidad media, húmedo, consistencia blanda a media, color marrón oscuro. Con presencia de gravas subangulosas de T <sub>máx</sub> =2.5". Relleno.							GRROUTING	4478
2	Caja 2	MH	(1.50 m - 5.35 m); limo inorgánico de alta compresibilidad, finos de plasticidad alta, húmedo, consistencia blanda a media (N= 4 a 8), color marrón oscuro. Con presencia de gravas subangulosas de T <sub>máx</sub> =1". Grava=3%; Arena=9.6-15.8%; Finos=81.2-90.4%. Límite Líquido: 55-72%, Límite Plástico: 46-63% e Índice de Plasticidad: 6-9%. Prof. 4.50 a 5.35m; Material orgánico (Turba) de color negro. Depósito lacustre (Q-lc).				1.81E-04	N=4	MH	TUBERÍA DE PVC 1"	4476
4	Caja 3	CL-ML	(5.35 m - 15.00 m); arcilla limo arenosa, finos de plasticidad baja, húmeda, consistencia media a firme (N= 9 a 18), color gris claro. Con presencia de gravas subangulosas de T <sub>máx</sub> =2". Grava=0% a 0.6%; Arena=5.5% a 18.8%; Finos=81.2% a 94.5%. Límite Líquido: 23-24%, Límite Plástico: 16-18% e Índice de Plasticidad: 5-6%. Depósito lacustre (Q-lc).					N=8	SC-SM		4474
6	Caja 4	CL-ML						N=4	MH	NF=5.11 m	4472
8	Caja 5	CL-ML						N=18	CL-ML	SELLO DE BENTONITA	4470
10	Caja 6	CL-ML						N=10	CL-ML		4468
12	Caja 7	CL-ML						N=9	CL-ML	GRAVILLA DE CUARZO 1/16"	4466
14	Caja 8	CL-ML						N=13	ML		4464
16	Caja 9	CL	(15.00 m - 24.00 m); arcilla inorgánica de plasticidad baja a media, mojada, consistencia blanda a media, color marrón. Grava=0%; Arena=0% a 2.2%; Finos=97.8% a 100%. Contenido de humedad 27% a 33%. Límite Líquido: 28-39%, Límite Plástico: 18-25% e Índice de Plasticidad: 10-15%. Depósito lacustre (Q-lc).					N=11	CL	TUBERÍA DE PVC 2"	4462
18	Caja 10	CL						N=4	CL		4460
20	Caja 11	CL						N=3	CL	TRAMO RANURADO REVESTIDO CON GEOTEXTIL	4458
22	Caja 12	CL-ML	(24.00 m - 30.20 m); arcilla limosa, finos de plasticidad baja a media, mojada, consistencia media a firme (N= 9 a 18), color marrón oscuro. Grava=0%; Arena=0.3% a 0.9%; Finos=99.1% a 99.7%. Contenido de humedad 25 a 29%. Límite Líquido: 21-36%, Límite Plástico: 15-25% e Índice de Plasticidad: 6-14%. Depósito lacustre (Q-lc).					N=3	CL		4456
24	Caja 13	CL-ML						N=4	CL		4454
26	Caja 14	SC-SM	(30.20 m - 32.10 m); arena limo arcillosa con grava, finos de plasticidad baja, mojada, moderadamente densa, gris oscuro. Con presencia de partículas subangulosas. Grava=15% a 20%; Arena=45% a 60%; Finos=35% a 55%. Depósito glacial (Q-gl).					N=14	CL-ML		4448
28	Caja 15	GC	(32.10 m - 38.70 m); grava arcillosa con arena, finos de plasticidad baja, mojada, moderadamente densa, gris claro. Con presencia de gravas subangulosas de							NF=31.06 m	4446
30	Caja 16	GC								DERRUMBE MEZCLADO CON GRAVILLA DE CUARZO	4446

**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 382302.25, 8704339.11  
**COTA TERRENO:** 4478.43 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 100 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=99.50 m, II=27.50 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 28/09/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 5/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-04  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 5.11 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD.

PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLOGÍA		RECUP. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	ENSAY. SPT (N60)	RESUL. DEL LAB.	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN								
34	Caja 12		Tmáx=2.5". Grava=50% a 60%; Arena=20% a 25%; Finos=30% a 35%. Depósito glaciar (Q-gl).								4444
36										CAMA DE GRAVILLA	4442
38	Caja 13										4440
40	Caja 14		Limolita (38.70 m - 42.60 m); color marrón a rojo, resistencia moderadamente dura (R3), ligeramente meteorizada (W2), moderadamente fracturado (F3). Las juntas son planas rugosas con relleno limo arenoso (blanda). En el tramo 41.50 m a 42.60 m la resistencia es blanda (R2). Grupo Goyllarisquizga.				1.94E-04			SELLO DE BENTONITA	4438
42	Caja 14										4436
44	Caja 15		Arenisca (42.60 m - 48.80 m); color marrón claro a gris, resistencia dura (R4), fresca a ligeramente meteorizada en algunos tramos (W1 a W2), masiva (F1). Las juntas planas rugosas sin relleno. Grupo Goyllarisquizga.								4434
46	Caja 16										4432
48	Caja 16						1.28E-04				4430
50	Caja 17		Arenisca intercalado con limolitas (48.80m - 57.40 m); color marrón a rojo, resistencia moderadamente dura (R3), ligera a moderadamente meteorizada (W2-W3), moderadamente fracturada (F3). Juntas planas rugosas a onduladas con relleno de material blando (limos y arcillas). En el tramo 52.35 m a 43.00 m la resistencia es blanda (R2). Grupo Goyllarisquizga.								4428
52	Caja 18										4426
54	Caja 18										4424
56	Caja 19						1.15E-04				4422
58	Caja 20		Arenisca (57.40 m - 68.00 m); color marrón claro, resistencia moderadamente dura (R3), ligeramente meteorizada (W2), masiva (F1). Juntas planas rugosas con relleno de limos arenosas. En el tramo 66.20 m a 68.00 m presenta alto grado de fracturamiento. Grupo Goyllarisquizga.								4420
60	Caja 21										4418
62	Caja 21										4416
64	Caja 22						4.17E-05				4414
66	Caja 22										4412

**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 382302.25, 8704339.11  
**COTA TERRENO:** 4478.43 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 100 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=99.50 m, II=27.50 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 28/09/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 5/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-04  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 5.11 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD

PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLOGÍA		RECUP. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	ENSAY. SPT (N60)	RESUL. DEL LAB.	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN								
68	Caja 23	[Dotted pattern]	Arenisca intercalado con limolitas (68.00 m - 80.00 m); color marrón a rojo, resistencia moderadamente dura (R3), fresca a ligera meteorización (W1-W2), ligeramente fracturada (F2). Juntas planas a onduladas con relleno de material blando (limos y arcillas). Grupo Goyllarisquiza.	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	8.32E-06			[Piezometer diagram]	4410
70	4408										
72	4406										
74	4404										
76	4402										
78	Caja 26	[Dotted pattern]	Limolita con interacciones de lutita (80.00 m - 84.40 m); color gris claro, resistencia blanda (R2), moderadamente meteorizada (W3), altamente fracturado en parte triturado (F4 a F5). Las juntas planas con relleno de material blando. En la profundidad: 82.00 m a 82.40 m falla con material de arcilla. En la profundidad: 83.80 m a 84.80 m tramo brechado con clastos subangulosos en matriz arenosa. Grupo Goyllarisquiza.	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	8.30E-05			[Piezometer diagram]	4400
80	4398										
82	Caja 27	[Brick pattern]	Caliza (84.40 m - 91.60 m); color gris, moderadamente resistente (R3), altamente fracturado. Formación Condorsinga.	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	6.32E-05			[Piezometer diagram]	4396
84	4394										
86	4392										
88	Caja 28	[Brick pattern]	Caliza (91.60 m - 100.00 m); color gris oscuro, resistencia muy blanda a blanda (R1 a R2), completamente meteorizada (W5) comportamiento a suelo. Formación Condorsinga.	[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]	2.26E-04			[Piezometer diagram]	4390
90	4388										
92	4386										
94	4384										
96	Caja 29	[Brick pattern]		[Bar chart]	[Bar chart]	[Bar chart]				[Piezometer diagram]	4382
98	4380										
100	Caja 30										

**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 383014.97, 8704859.58  
**COTA TERRENO:** 4648.42 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 120 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=17.50 m, II=119.40 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 09/09/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 14/09/2020

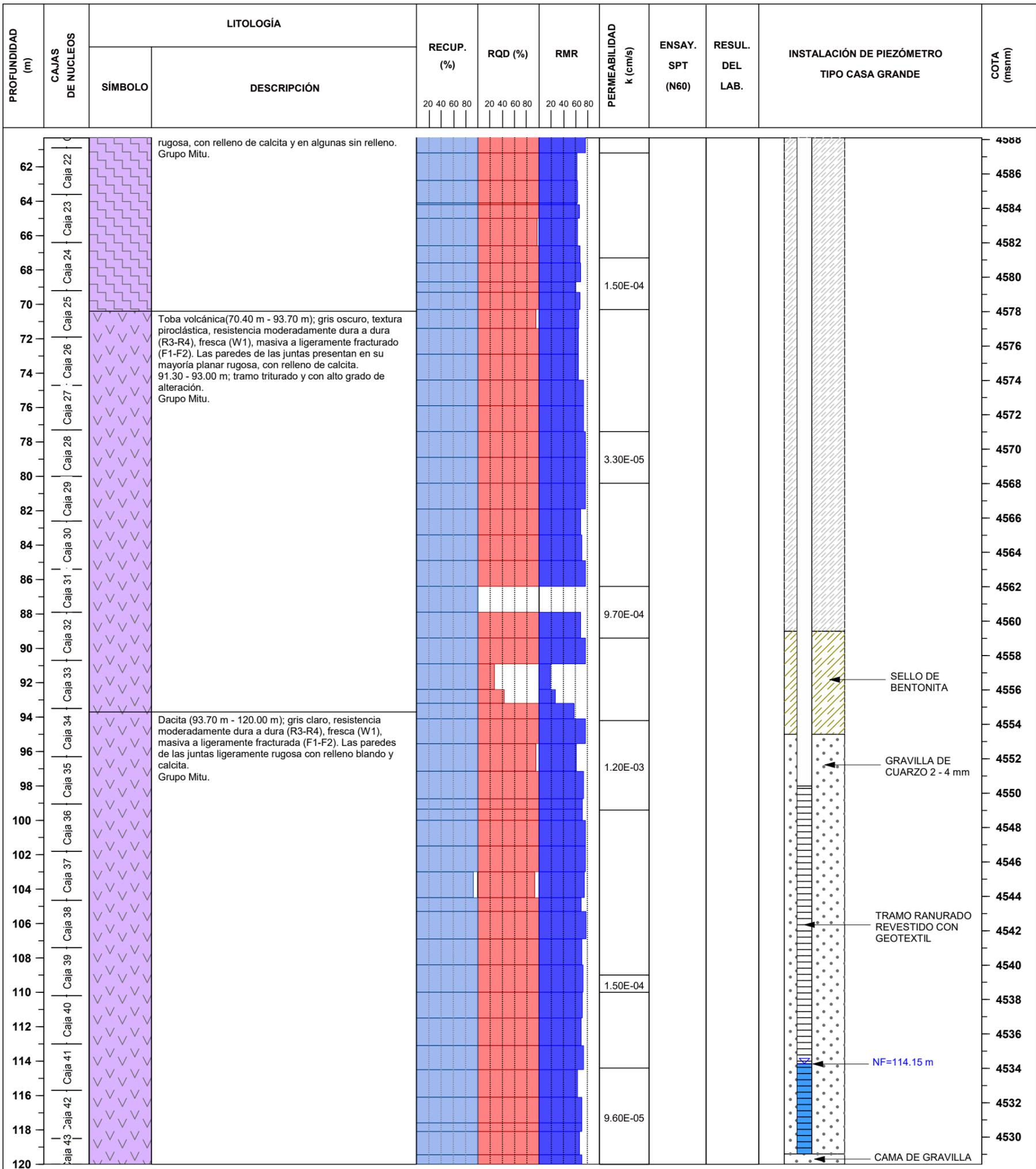
**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-11  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 1.65 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD.

PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLOGÍA		RECUP. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	ENSAY. SPT (N60)	RESUL. DEL LAB.	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN								
0	Caja 1	SC-SM	(0.00 m - 3.95 m); arena limo arcillosa con grava, finos de baja plasticidad, suelta, húmeda, color marrón claro. Presenta gravas sub angulosas de T <sub>máx</sub> =1". Grava=16.5%; Arena=64%; Finos=19.5%. Límite Líquido: 25%, Límite Plástico: 19% e índice de Plasticidad: 6%. Depósito glaciar (Q-gl).					N=5	SC-SM		4648
2	Caja 2	SC	(3.95 m - 7.40 m); arena arcillosa con grava, finos de baja plasticidad, medianamente densa (N=12), mojado, color gris a marrón oscuro. Presenta gravas subredondeadas T <sub>máx</sub> =1". Grava=20.9%; Arena=61.8%; Finos=17.3%. Límite Líquido: 27%, Límite Plástico: 19% e índice de Plasticidad: 8%. En el tramo 3.90 m a 4.70 m presenta turba (suelo orgánico). Depósito glaciar (Q-gl).				5.30E-04	N=12	SC		4646
4	Caja 3	ML	(7.40 m - 11.50 m); limo arenosa, finos de media a alta plasticidad, suelta a medianamente densa (N=10), mojado, color gris oscuro. Grava=0%; Arena=11.5%; Finos=88.5%. Límite Líquido: 49%, Límite Plástico: 35% e índice de Plasticidad: 14%. Contenido de humedad: 58%. Depósito glaciar (Q-gl).				2.20E-04	N=10	ML		4644
6	Caja 4	MH	(11.50 m - 17.60 m); limo inorgánico de alta compresibilidad, finos de alta plasticidad, consistencia blanda a medianamente firme, saturado, color gris oscuro. Grava=0.8-1.5%; Arena=10.1-13.4%; Finos=80.1-89.1%. Límite Líquido: 51-54%, Límite Plástico: 34-36% e índice de Plasticidad: 17-18%. Depósito glaciar (Q-gl).					N=7	MH		4642
8	Caja 5	MH	(17.60 m - 38.60 m); gris rojizo de composición dacítica, resistencia dura (R4), fresca (W1) y masiva. Las paredes de las juntas presentan ondulada rugosa sin relleno, en algunas juntas con rellenos de calcita. Grupo Mitu.				1.30E-04	N=4	MH		4640
10	Caja 6										4638
12	Caja 7										4636
14	Caja 8										4634
16	Caja 9										4632
18	Caja 10										4630
20	Caja 11										4628
22	Caja 12										4626
24	Caja 13										4624
26	Caja 14										4622
28	Caja 15										4620
30	Caja 16										4618
32	Caja 17										4616
34	Caja 18										4614
36	Caja 19										4612
38	Caja 20										4610
40	Caja 21										4608
42										4606	
44										4604	
46										4602	
48										4600	
50										4598	
52										4596	
54										4594	
56										4592	
58										4590	
60										4590	

**OBSERVACIONES :**



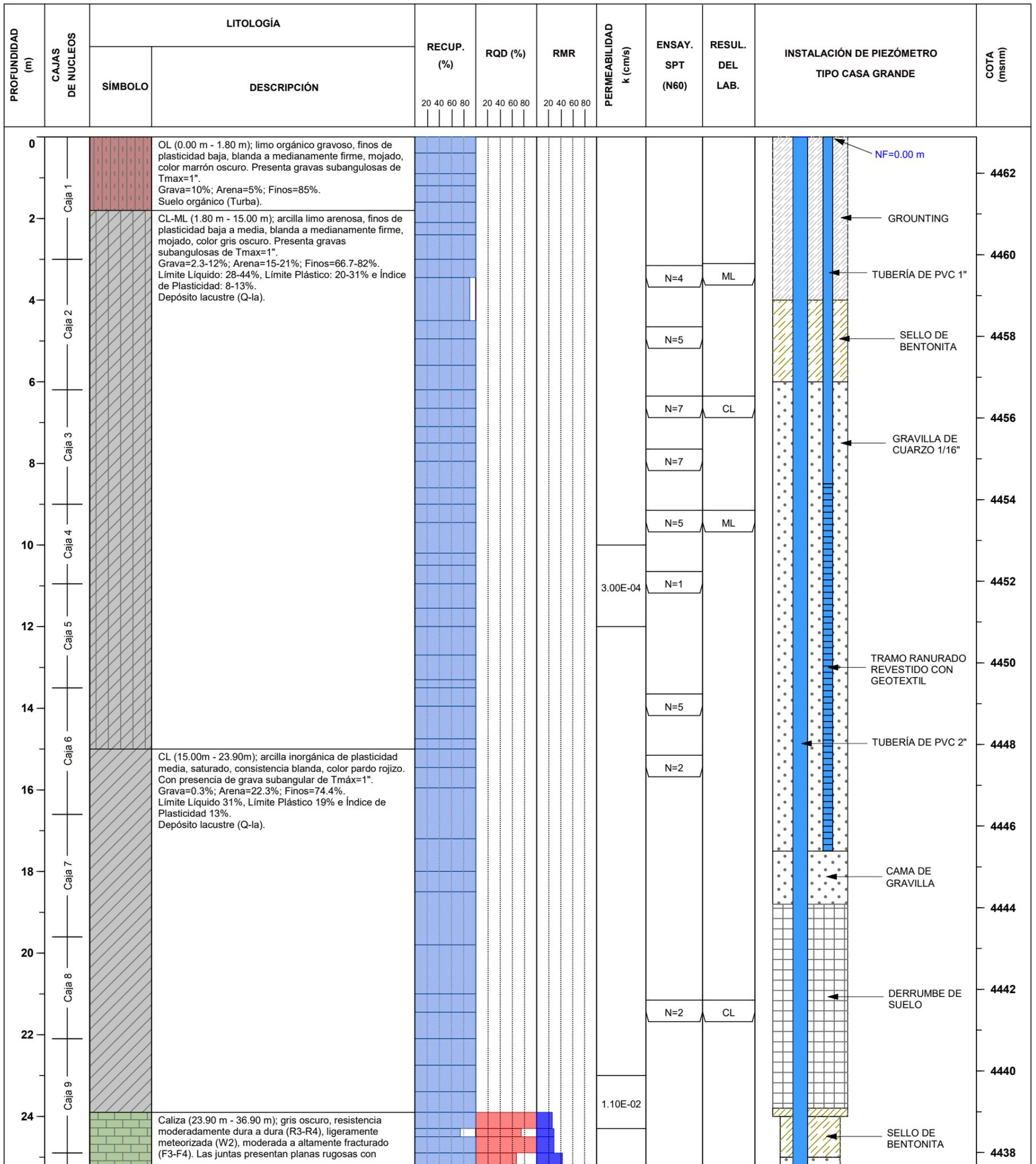
<b>COORDENADAS:</b>	383014.97, 8704859.58	<b>MAQUINA DE PERFORACIÓN:</b>	DE 710-11
<b>COTA TERRENO:</b>	4648.42 msnm	<b>SISTEMA DE PERFORACIÓN:</b>	SISTEMA WIRE LINE
<b>PROFUNDIDAD DEL SONDEO:</b>	120 m	<b>DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:</b>	9.60 cm
<b>PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:</b>	I=17.50 m, II=119.40 m	<b>NIVEL FREÁTICO:</b>	1.65 m (13/11/2020)
<b>INCLINACIÓN DEL SONDEO:</b>	-90°	<b>REGISTRADO POR:</b>	CD
<b>FECHA DE INICIO:</b>	09/09/2020		
<b>FECHA DE TERMINO:</b>	14/09/2020		





**COORDENADAS:** 381563.61, 8704642.16  
**COTA TERRENO:** 4462.89 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 50.10 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=17.50 m, II=47.70 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 11/10/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 15/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-11  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 0.00 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD.



**OBSERVACIONES :**



**COORDENADAS:** 381563.61, 8704642.16  
**COTA TERRENO:** 4462.89 msnm  
**PROFUNDIDAD DEL SONDEO:** 50.10 m  
**PROFUNDIDAD DE PIEZÓMETROS:** I=17.50 m, II=47.70 m  
**INCLINACIÓN DEL SONDEO:** -90°  
**FECHA DE INICIO:** 11/10/2020  
**FECHA DE TERMINO:** 15/10/2020

**MAQUINA DE PERFORACIÓN:** DE 710-11  
**SISTEMA DE PERFORACIÓN:** SISTEMA WIRE LINE  
**DIÁMETRO DE PERFORACIÓN:** 9.60 cm  
**NIVEL FREÁTICO:** 0.00 m (13/11/2020)  
**REGISTRADO POR:** CD,

PROFUNDIDAD (m)	CAJAS DE NUCLEOS	LITOLOGÍA		RECUP. (%)	RQD (%)	RMR	PERMEABILIDAD k (cm/s)	ENSAY. SPT (N60)	RESUL. DEL LAB.	INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO TIPO CASA GRANDE	COTA (msnm)
		SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN								
26	Caja 10		relleno de calcita y pátinas de óxido. Formación Chúlec.								4436
28	Caja 11										4434
30	Caja 12						3.20E-03				4432
32	Caja 13										4430
34	Caja 14										4428
36	Caja 15										4426
38	Caja 16		Caliza (36.90 m - 50.10 m); gris, resistencia moderadamente dura a dura (R3-R4), ligeramente meteorizada (W2), masiva a ligeramente fracturado (F1-F2). Las juntas presentan planas rugosas con relleno de calcita. Formación Chúlec.							TRAMO RANURADO REVESTIDO CON GEOTEXTIL	4424
40	Caja 17										4422
42	Caja 18										4420
44	Caja 19										4418
46	Caja 20										4416
48	Caja 21						3.90E-04			CAMA DE GRAVILLA	4414
50	Caja 22									DERRUMBE DE ROCA	

**OBSERVACIONES :**

**ANEXO 6**  
**REGISTRO DE ENSAYOS SPT**





Zona: Depósitos Gavilán  
 Ubicación : Yauli , Junín  
 Elaborado por : CD  
 Coordenadas: E: 382354.99; N: 8704446.72; Z: 4504.82

**SONDEO GTg-02**

A) CORRECCIONES PARA EL N DE SPT  
 Robertson and Wride (1998)  
 B) PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL

1° C<sub>E</sub>= 1  
 (Energía del Martillo)  
 Y<sub>s</sub>= 16.00

2° C<sub>B</sub>= 1  
 (Corrección por Diámetro de la perforación)  
 kN/m<sup>2</sup>

3° C<sub>S</sub>= 1  
 (Corrección por muestreador)

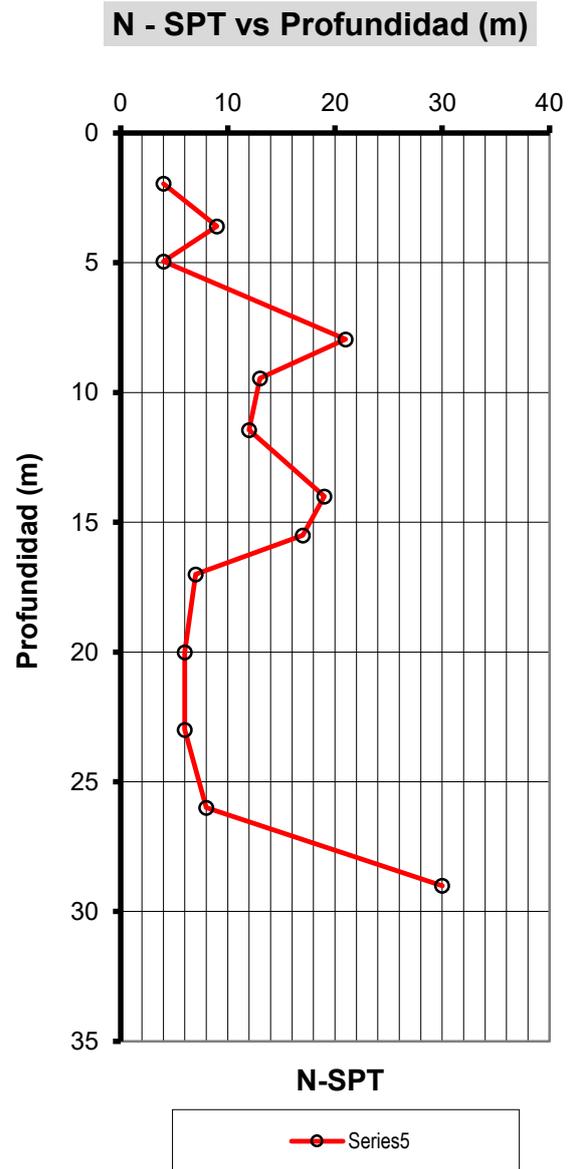
Ensayo	Prof. (m)	N	Esfuerzo vertical efectivo σ' <sub>v</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Corrección por varillaje 4° C <sub>r</sub>	Corrección de Liao 5° C <sub>N</sub>	Corrección de Skempton 5° C <sub>N</sub>	N <sub>60</sub>	Densidad Relativa Yoshida (1988) (% D <sub>r</sub> )	Compacidad	Ángulo de Fricción (φ)				
										Hatanaka y uchida (1996) (15.4N <sub>corregido</sub> ) <sup>0.5</sup> + 20	Muromachi (1974) 20 + 3.5(N <sub>corregido</sub> ) <sup>0.5</sup>	Meyerhof (1959) 28+0.15(D <sub>r</sub> )	Promedio	Mín
1	3.00	7	0.48	0.80	1.44	1.21	7	38	Suelta	30	29	34	31	29
2	8.00	31	1.28	0.95	0.88	0.91	26	63	Muy Firme	40	38	37	38	37
3	12.00	13	1.92	1.00	0.72	0.77	9	37	Firme	32	31	34	32	31
4	18.00	20	2.88	1.00	0.59	0.61	12	39	Firme	33	32	34	33	32
5	21.50	5	3.44	1.00	0.54	0.55	3	20	Muy Suelto	26	26	31	28	26
6	26.50	29	4.24	1.00	0.49	0.48	14	41	Muy Firme	35	33	34	34	33
7	30.50	8	4.88	1.00	0.45	0.44	3	21	Suelta	27	27	31	28	27

Promedio = 32  
 Mínimo = 26



**Zona:** Depósitos Gavilán  
**Ubicación :** Yauli, Junín  
**Fecha :** Set-20  
**Registrado por :** CD

Profundidad (m)	Sondeo HTg-02		
	(m)	Golpes c/15 cm	N
1.50	1.65	4	
	1.80	3	
	1.95	1	
3.15	3.30	5	
	3.45	4	
	3.60	5	
4.50	4.65	2	
	4.80	2	
	4.95	2	
7.50	7.65	5	
	7.80	10	
	7.95	11	
9.00	9.15	5	
	9.30	8	
	9.45	5	
11.00	11.15	3	
	11.30	5	
	11.45	7	
14.00	14.15	5	
	14.30	8	
	14.45	11	
15.50	15.65	5	
	15.80	6	
	15.95	11	
17.00	17.15	4	
	17.30	4	
	17.45	3	
20.00	20.15	3	
	20.30	3	
	20.45	3	
23.00	23.15	1	
	23.30	3	
	23.45	3	
26.00	26.15	5	
	26.30	4	
	26.45	4	
29.00	29.15	8	
	29.30	14	
	29.45	16	





Zona: Depósitos Gavilán  
Ubicación : Yauli , Junín  
Elaborado por : CD  
Coordenadas: E: 382302.25; N: 8704339.11; Z: 4478.43

**SONDEO HTg-02**

A) CORRECCIONES PARA EL N DE SPT  
 Robertson and Wride (1998)      1° C<sub>E</sub>= 1      2° C<sub>B</sub>= 1      3° C<sub>S</sub>= 1  
 (Energía del Martillo)      (Corrección por Diámetro de la perforación)      (Corrección por muestreador)

B) PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL      Y<sub>s</sub>= 16.00      kN/m<sup>3</sup>

Ensayo	Prof. (m)	N	Esfuerzo vertical efectivo	Corrección por varillaje 4° C <sub>r</sub>	Corrección de Liao 5° C <sub>N</sub>	Corrección de Skempton 5° C <sub>N</sub>	N <sub>60</sub>	Densidad Relativa Yoshida (1988)	Compacidad	Ángulo de Fricción (φ)					
			σ' <sub>v</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Ver tabla	(1/σ' <sub>v</sub> ) <sup>0.5</sup>	3/(2+σ' <sub>v</sub> )		N <sub>60</sub> =NxC <sub>N</sub> X C <sub>E</sub> X C <sub>B</sub> X C <sub>R</sub> X C <sub>S</sub>		(% D <sub>r</sub> )	Hatanaka y uchida (1996)	Muromachi (1974)	Meyerhof (1959)	Promedio	Mín
											(15.4N <sub>corregido</sub> ) <sup>0.5</sup> + 20	20 + 3.5(N <sub>corregido</sub> ) <sup>0.5</sup>	28+0.15(D <sub>r</sub> )		
1	1.95	4	0.31	0.80	1.70	1.30	4	32	Muy Suelto		28	27	33	29	27
2	3.60	9	0.58	0.80	1.32	1.16	8	41	Suelta		31	30	34	32	30
3	4.95	4	0.79	0.85	1.12	1.07	4	27	Muy Suelto		28	27	32	29	27
4	7.95	21	1.27	0.95	0.89	0.92	18	52	Firme		37	35	36	36	35
5	9.45	13	1.51	0.95	0.81	0.85	10	40	Firme		32	31	34	32	31
6	11.45	12	1.83	1.00	0.74	0.78	9	37	Firme		32	30	33	32	30
7	14.00	19	2.24	1.00	0.67	0.71	13	42	Firme		34	32	34	34	32
8	15.50	17	2.48	1.00	0.64	0.67	11	39	Firme		33	31	34	33	31
9	17.00	7	2.72	1.00	0.61	0.64	4	25	Suelta		28	27	32	29	27
10	20.00	6	3.20	1.00	0.56	0.58	3	22	Suelta		27	26	31	28	26
11	23.00	6	3.68	1.00	0.52	0.53	3	21	Suelta		27	26	31	28	26
12	26.00	8	4.16	1.00	0.49	0.49	4	23	Suelta		28	27	31	29	27
13	29.00	30	4.64	1.00	0.46	0.45	14	40	Muy Firme		34	33	34	34	33

Promedio = 31  
Mínimo = 26





Zona: Depósitos Gavilán  
Ubicación : Yauli , Junín  
Elaborado por : CD  
Coordenadas: E: 383014.97; N: 8704859.58; Z: 4648.42

**SONDEO HTg-05**

A) CORRECCIONES PARA EL N DE SPT  
 Robertson and Wride (1998)      1° C<sub>E</sub>= 1      (Energía del Martillo)      2° C<sub>B</sub>= 1      (Corrección por Diámetro de la perforación)      3° C<sub>S</sub>= 1      (Corrección por muestreador)

B) PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL      Y<sub>s</sub>= 16.70      kN/m<sup>3</sup>

Ensayo	Prof. (m)	N	Esfuerzo vertical efectivo	Corrección por varillaje 4° C <sub>r</sub>	Corrección de Liao 5° C <sub>N</sub>	Corrección de Skempton 5° C <sub>N</sub>	N <sub>60</sub>	Densidad Relativa Yoshida (1988)	Compacidad	Ángulo de Fricción (φ)				
			σ' <sub>v</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Ver tabla	(1/σ' <sub>v</sub> ) <sup>0.5</sup>	3/(2+σ' <sub>v</sub> )		N <sub>60</sub> =NxC <sub>N</sub> X C <sub>E</sub> X C <sub>B</sub> X C <sub>R</sub> X C <sub>S</sub>		(% D <sub>r</sub> )	Hatanaka y uchida (1996)	Muromachi (1974)	Meyerhof (1959)	Promedio
1	3.45	5	0.58	0.80	1.32	1.16	5	31	Muy Suelto	(15.4N <sub>corregido</sub> ) <sup>0.5</sup> + 20	20 + 3.5(N <sub>corregido</sub> ) <sup>0.5</sup>	28+0.15(D <sub>r</sub> )	30	28
2	6.45	13	1.08	0.95	0.96	0.97	12	45	Firme	28	28	33	33	32
3	10.25	13	1.71	1.00	0.76	0.81	10	39	Firme	34	32	35	32	31
4	13.85	10	2.31	1.00	0.66	0.70	7	31	Suelta	32	31	34	31	29
5	17.25	7	2.88	1.00	0.59	0.61	4	24	Suelta	30	29	33	29	27
										28	27	32	30	27

Promedio = 31  
Mínimo = 27

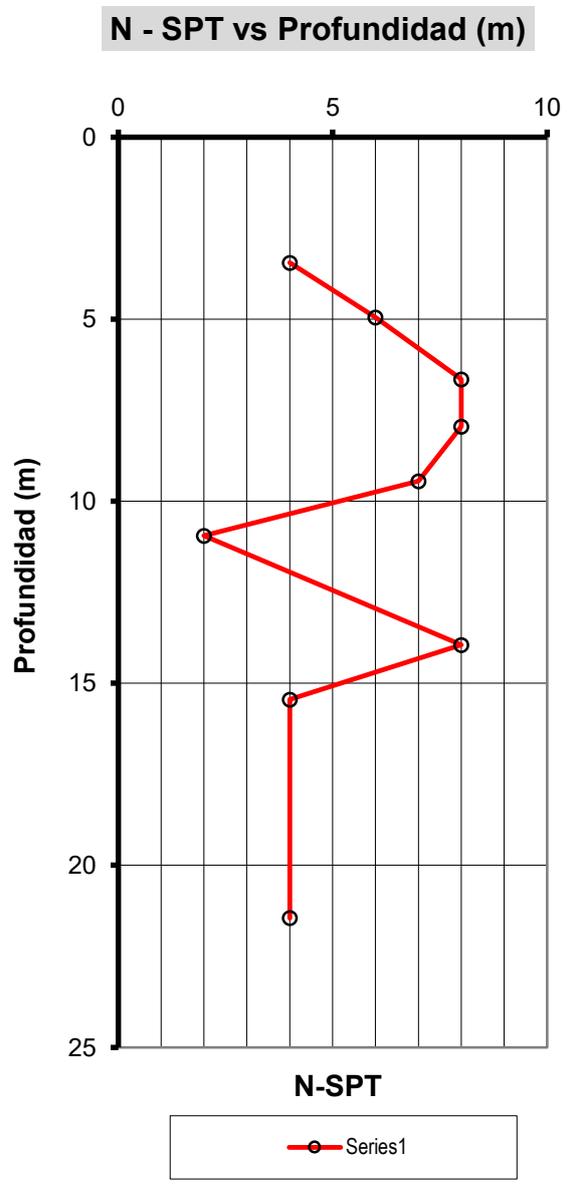


**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE INGENIERÍA**  
Facultad de Ingeniería Geológica  
Minera y Metalúrgica

**ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR SPT  
SONDEO HTg-06**

**Zona:** Depósitos Gavilán  
**Ubicación :** Yauli, Junín  
**Fecha :** Oct-20  
**Registrado por :** CD

Profundidad (m)	Sondeo HTg-06		
	(m)	Golpes c/15 cm	N
3.00	3.15	1	4
	3.30	2	
	3.45	2	
4.50	4.65	2	6
	4.80	3	
	4.95	3	
6.20	6.35	3	8
	6.50	4	
	6.65	4	
7.50	7.65	3	8
	7.80	4	
	7.95	4	
9.00	9.15	3	7
	9.30	3	
	9.45	4	
10.50	10.65	2	2
	10.80	1	
	10.95	1	
13.50	13.65	2	8
	13.80	4	
	13.95	4	
15.00	15.15	1	4
	15.30	2	
	15.45	2	
21.00	21.15	1	4
	21.30	2	
	21.45	2	





Zona: Depósitos Gavilán  
Ubicación : Yauli , Junín  
Elaborado por : CD  
Coordenadas: E: 381563.61; N: 8704642.16; Z: 4462.89

**SONDEO HTg-06**

A) CORRECCIONES PARA EL N DE SPT  
Robertson and Wride (1998)  
B) PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL

1°  $C_E = 1$  (Energía del Martillo)  
2°  $C_B = 1$  (Corrección por Diámetro de la perforación)  
3°  $C_S = 1$  (Corrección por muestreador)  
 $\gamma_s = 16.70$  kN/m<sup>3</sup>

Ensayo	Prof. (m)	N	Esfuerzo vertical efectivo	Corrección por varillaje 4° $C_r$	Corrección de Liao 5° $C_N$	Corrección de Skempton 5° $C_N$	$N_{60}$	Densidad Relativa Yoshida (1988)	Compacidad	Ángulo de Fricción ( $\phi$ )				
			$\sigma'_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Ver tabla	$(1/\sigma'_v)^{0.5}$	$3/(2+\sigma'_v)$		$N_{60} = N \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S$		(% D <sub>r</sub> )	Hatanaka y uchida (1996)	Muromachi (1974)	Meyerhof (1959)	Promedio
1	3.45	4	0.58	0.80	1.32	1.16	4	28	Muy Suelto	$(15.4N_{\text{corregido}})^{0.5} + 20$	$20 + 3.5(N_{\text{corregido}})^{0.5}$	$28 + 0.15(D_r)$	29	27
2	4.95	6	0.83	0.85	1.10	1.06	5	32	Suelta	28	27	32	30	28
3	6.65	8	1.11	0.95	0.95	0.96	7	35	Suelta	29	28	33	31	29
4	7.95	8	1.33	0.95	0.87	0.90	7	33	Suelta	31	29	33	31	29
5	9.45	7	1.58	0.95	0.80	0.84	5	29	Suelta	30	29	33	30	28
6	10.95	2	1.83	1.00	0.74	0.78	1	16	Muy Suelto	29	28	32	26	24
7	13.95	8	2.33	1.00	0.66	0.69	5	28	Suelta	25	24	30	26	24
8	15.45	4	2.58	1.00	0.62	0.66	2	20	Muy Suelto	29	28	32	30	28
9	21.45	4	3.58	1.00	0.53	0.54	2	17	Muy Suelto	26	26	31	28	26
										26	25	31	27	25

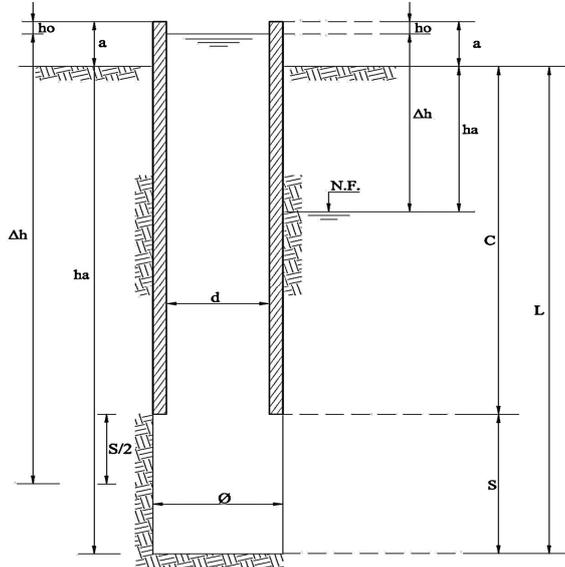
Promedio = 29  
Mínimo = 24

**ANEXO 7**

**REGISTRO DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD**

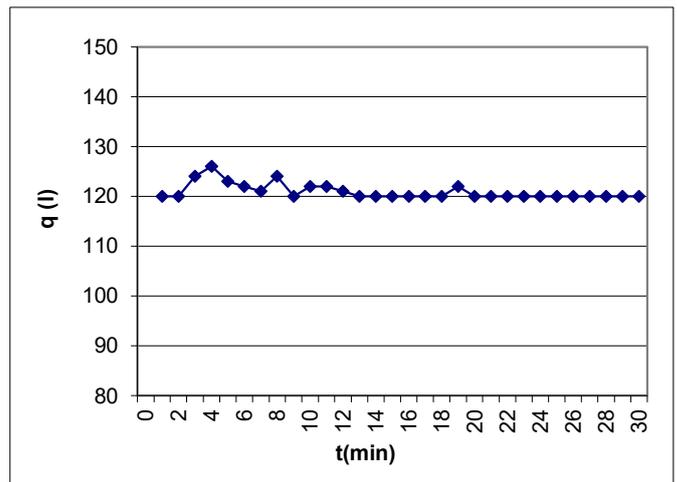


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 1
<b>Fecha:</b> 23-08-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 04:30 <b>Hr. Fin:</b> 05:30	<b>Litología:</b> GC
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 1



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	4.75	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	5.35	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	156.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	60.00	cm
	Después del ensayo	60.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	349.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			360.0		2545.0	120.0
1			480.0	120.0	2667.0	122.0
2			600.0	120.0	2787.0	120.0
3			724.0	124.0	2907.0	120.0
4			850.0	126.0	3027.0	120.0
5			973.0	123.0	3147.0	120.0
6			1095.0	122.0	3267.0	120.0
7			1216.0	121.0	3387.0	120.0
8			1340.0	124.0	3507.0	120.0
9			1460.0	120.0	3627.0	120.0
10			1582.0	122.0	3747.0	120.0
11			1704.0	122.0	3867.0	120.0
12			1825.0	121.0	3987.0	120.0
13			1945.0	120.0		
14			2065.0	120.0		
15			2185.0	120.0		
16			2305.0	120.0		
17			2425.0	120.0		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:

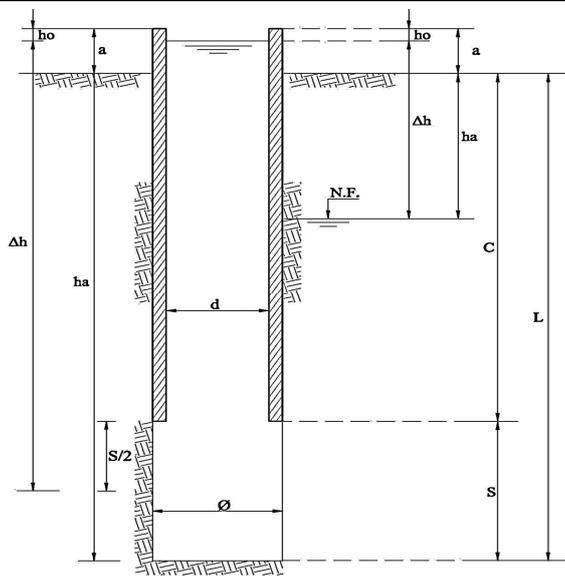
$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$   
 $k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> Con la máxima potencia de la bomba de agua no se logra llenar toda la columna de perforación. Se toma lectura del caudal en la máxima potencia. Tramo de ensayo de alta permeabilidad.	<b>Caudal (Q):</b> 2015.0 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 3.76E-02 cm/s

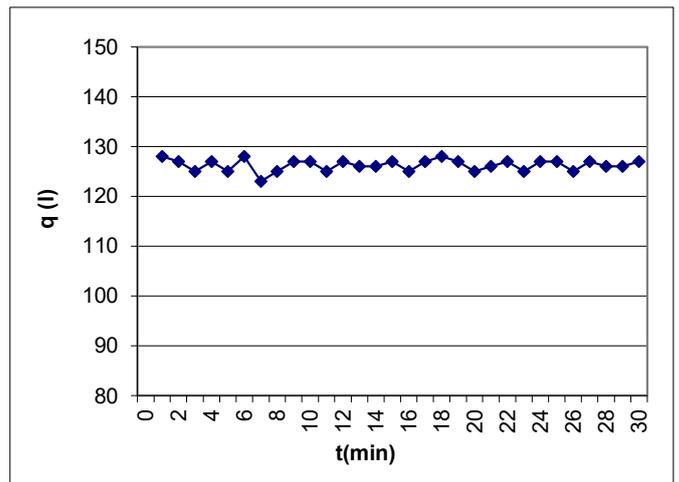


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 2
<b>Fecha:</b> 24-08-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 09:45 <b>Hr. Fin:</b> 10:45	<b>Litología:</b> GW-GM
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 2



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	<b>0.00</b>	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	<b>N.E.</b>	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	<b>10.50</b>	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	<b>11.00</b>	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	<b>30.00</b>	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	<b>7.77</b>	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	<b>9.60</b>	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	<b>50.00</b>	cm
	Después del ensayo	<b>50.00</b>	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	<b>1045.00</b>	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			700.0		2973.0	128.0
1			828.0	128.0	3100.0	127.0
2			955.0	127.0	3225.0	125.0
3			1080.0	125.0	3351.0	126.0
4			1207.0	127.0	3478.0	127.0
5			1332.0	125.0	3603.0	125.0
6			1460.0	128.0	3730.0	127.0
7			1583.0	123.0	3857.0	127.0
8			1708.0	125.0	3982.0	125.0
9			1835.0	127.0	4109.0	127.0
10			1962.0	127.0	4235.0	126.0
11			2087.0	125.0	4361.0	126.0
12			2214.0	127.0	4488.0	127.0
13			2340.0	126.0		
14			2466.0	126.0		
15			2593.0	127.0		
16			2718.0	125.0		
17			2845.0	127.0		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$

$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$

$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=  $\Delta h_1 =$   $c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$

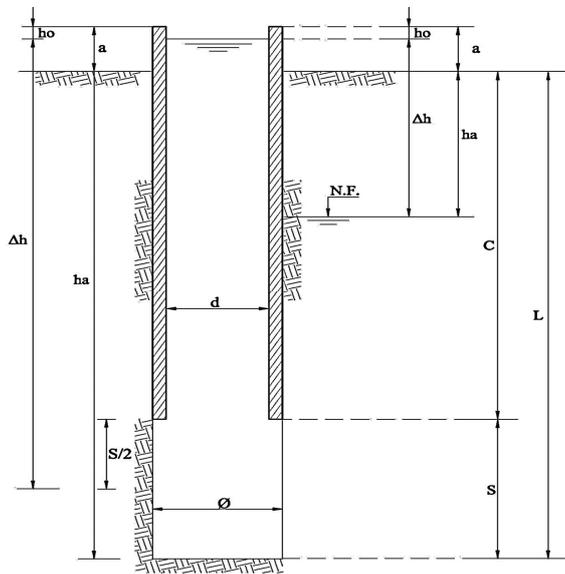
t2=  $\Delta h_2 =$   $k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> Con la máxima potencia de la bomba de agua no se logra llenar toda la columna de perforación. Se toma lectura del caudal en la máxima potencia. Tramo de ensayo de alta permeabilidad.	<b>Caudal (Q):</b> 2104.4 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 2.27E-01 cm/s

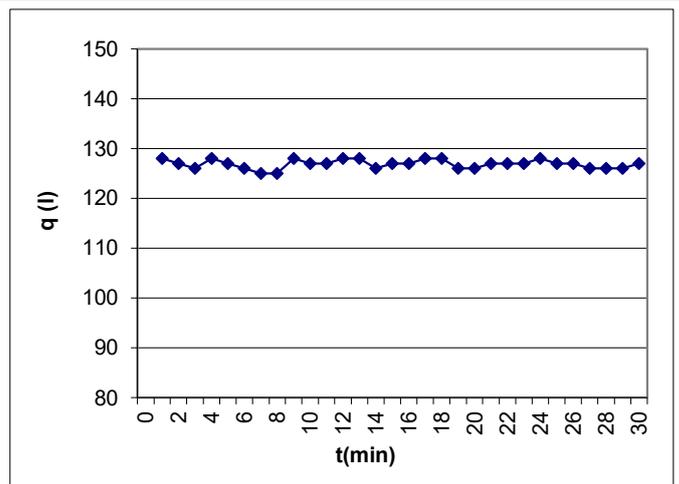


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 3
<b>Fecha:</b> 24-08-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 16:15 <b>Hr. Fin:</b> 17:15	<b>Litología:</b> GW-GM
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 3



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	15.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	15.50	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	35.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Después del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	1490.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			700.0		2986.0	128.0
1			828.0	128.0	3112.0	126.0
2			955.0	127.0	3238.0	126.0
3			1081.0	126.0	3365.0	127.0
4			1209.0	128.0	3492.0	127.0
5			1336.0	127.0	3619.0	127.0
6			1462.0	126.0	3747.0	128.0
7			1587.0	125.0	3874.0	127.0
8			1712.0	125.0	4001.0	127.0
9			1840.0	128.0	4127.0	126.0
10			1967.0	127.0	4253.0	126.0
11			2094.0	127.0	4379.0	126.0
12			2222.0	128.0	4506.0	127.0
13			2350.0	128.0		
14			2476.0	126.0		
15			2603.0	127.0		
16			2730.0	127.0		
17			2858.0	128.0		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

<b>X</b>

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=

Δh1=

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

t2=

Δh2=

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

$d$  = Diámetro interior del casing

$S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)

$t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$

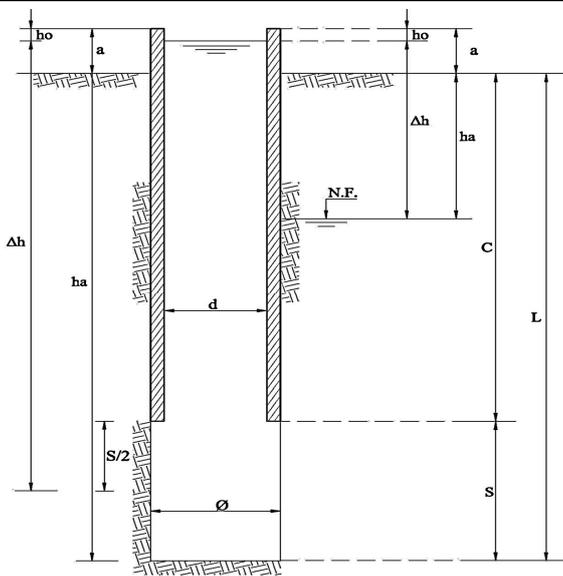
$h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

$\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> Con la máxima potencia de la bomba de agua no se logra llenar toda la columna de perforación. Se toma lectura del caudal en la máxima potencia. Tramo de ensayo de alta permeabilidad.	<b>Caudal (Q):</b> 2114.4 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.96E-01 cm/s

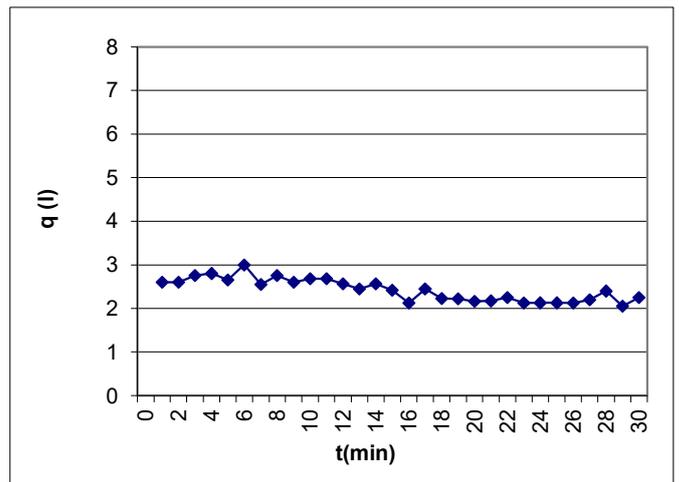


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 4
<b>Fecha:</b> 25-08-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 14:00 <b>Hr. Fin:</b> 15:00	<b>Litología:</b> GW.GM
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 4



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.40	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	20.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	20.50	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica (ha+a-ho)	2065.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	7.77	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Después del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			117.00		163.5	2.23
1			119.60	2.60	165.7	2.22
2			122.20	2.60	167.8	2.16
3			124.95	2.75	170.0	2.17
4			127.75	2.80	172.3	2.25
5			130.40	2.65	174.4	2.12
6			133.40	3.00	176.5	2.13
7			135.95	2.55	178.6	2.13
8			138.70	2.75	180.8	2.12
9			141.30	2.60	183.0	2.20
10			143.98	2.68	185.4	2.40
11			146.66	2.68	187.4	2.05
12			149.22	2.56	189.7	2.25
13			151.67	2.45		
14			154.23	2.56		
15			156.65	2.42		
16			158.77	2.12		
17			161.22	2.45		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

<b>X</b>

**Donde:**  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=

Δh1=

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

t2=

Δh2=

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

**Donde:**

$d$  = Diámetro interior del casing

$S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)

$t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$

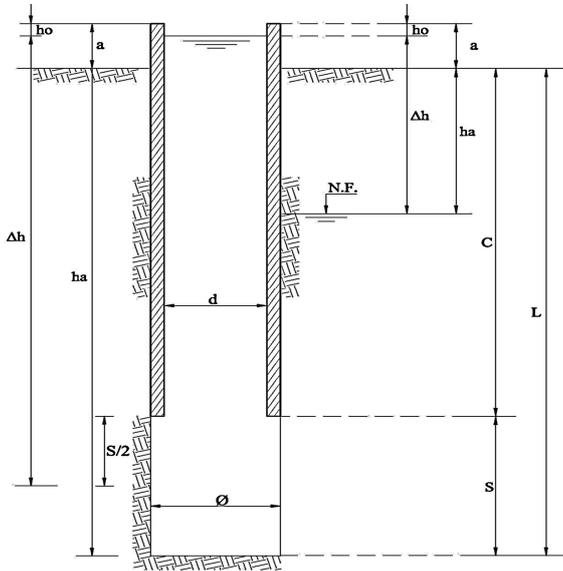
$h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

$\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 40.4 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 6.33E-05 cm/s

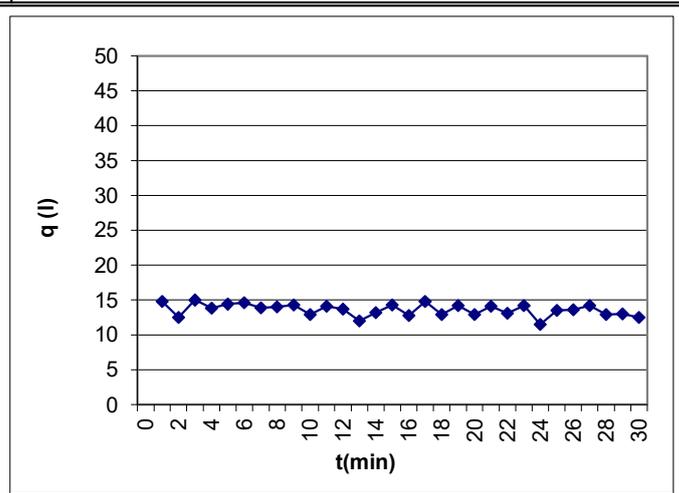


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 5
<b>Fecha:</b> 25-08-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 23:00 <b>Hr. Fin:</b> 00:30	<b>Litología:</b> GW-GM
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 5



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.50	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	24.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	24.50	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	2475.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	7.77	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Después del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			427.00		675.0	12.90
1			441.80	14.80	689.2	14.20
2			454.30	12.50	702.1	12.90
3			469.30	15.00	716.2	14.10
4			483.10	13.80	729.3	13.10
5			497.50	14.40	743.5	14.20
6			512.10	14.60	755.0	11.50
7			526.00	13.90	768.5	13.50
8			540.00	14.00	782.1	13.60
9			554.30	14.30	796.3	14.20
10			567.20	12.90	809.2	12.90
11			581.30	14.10	822.2	13.00
12			595.00	13.70	834.7	12.50
13			607.00	12.00		
14			620.20	13.20		
15			634.50	14.30		
16			647.30	12.80		
17			662.10	14.80		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$

$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$

$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=  $\Delta h_1 =$   $c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$

t2=  $\Delta h_2 =$

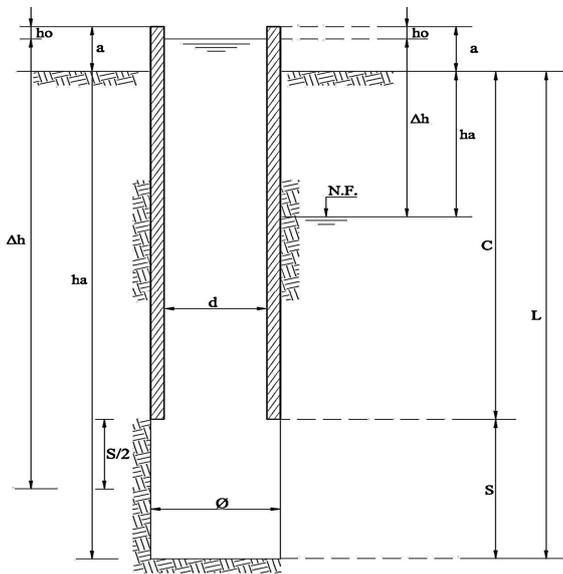
Donde:  $k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 226.5 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 2.96E-04 cm/s

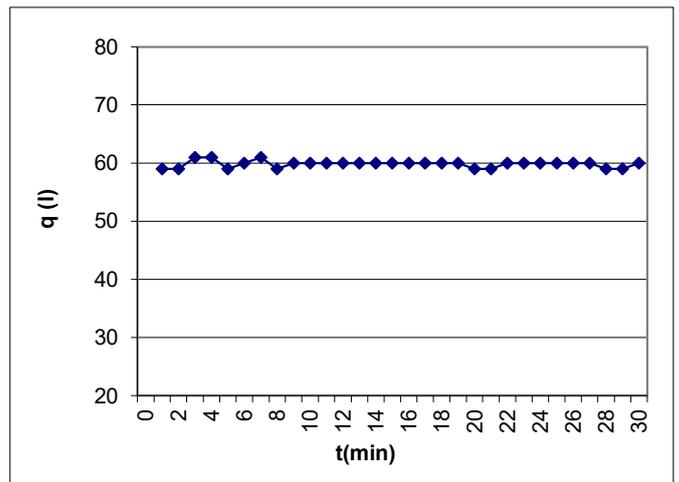


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 6
<b>Fecha:</b> 26-08-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 11:45 <b>Hr. Fin:</b> 12:45	<b>Litología:</b> GW-GM
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 6



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.70	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	29.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	29.50	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	2995.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	7.77	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Después del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			100.00		1179.0	60.00
1			159.00	59.00	1239.0	60.00
2			218.00	59.00	1298.0	59.00
3			279.00	61.00	1357.0	59.00
4			340.00	61.00	1417.0	60.00
5			399.00	59.00	1477.0	60.00
6			459.00	60.00	1537.0	60.00
7			520.00	61.00	1597.0	60.00
8			579.00	59.00	1657.0	60.00
9			639.00	60.00	1717.0	60.00
10			699.00	60.00	1776.0	59.00
11			759.00	60.00	1835.0	59.00
12			819.00	60.00	1895.0	60.00
13			879.00	60.00		
14			939.00	60.00		
15			999.00	60.00		
16			1059.00	60.00		
17			1119.00	60.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

<b>X</b>

*Donde:*  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$$t_1 = \quad \Delta h_1 =$$

$$t_2 = \quad \Delta h_2 =$$

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

*Donde:*

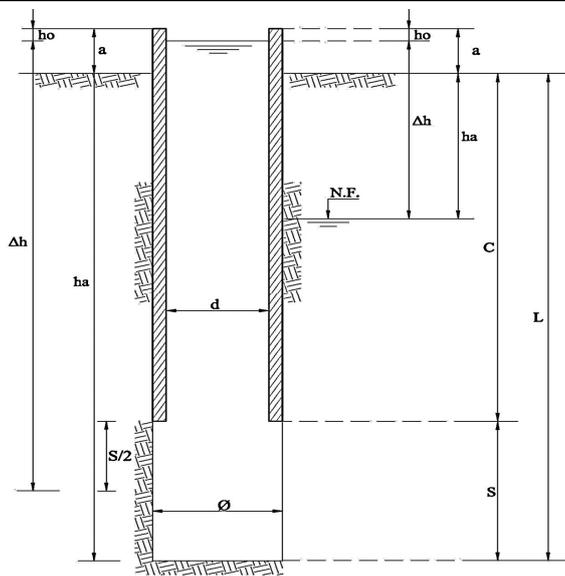
$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 997.2 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.08E-03 cm/s

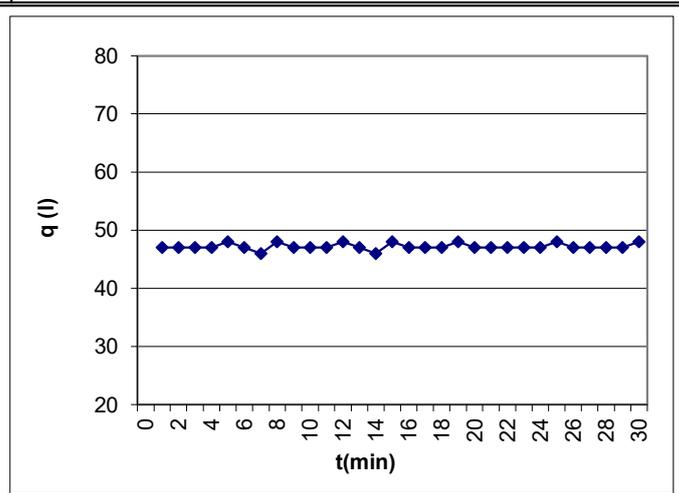


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 7
<b>Fecha:</b> 26-08-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 17:30 <b>Hr. Fin:</b> 18:30	<b>Litología:</b> CL
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 7



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	1.40	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	34.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	34.50	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	3565.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	7.77	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Después del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			380.00		1228.0	47.00
1			427.00	47.00	1276.0	48.00
2			474.00	47.00	1323.0	47.00
3			521.00	47.00	1370.0	47.00
4			568.00	47.00	1417.0	47.00
5			616.00	48.00	1464.0	47.00
6			663.00	47.00	1511.0	47.00
7			709.00	46.00	1559.0	48.00
8			757.00	48.00	1606.0	47.00
9			804.00	47.00	1653.0	47.00
10			851.00	47.00	1700.0	47.00
11			898.00	47.00	1747.0	47.00
12			946.00	48.00	1795.0	48.00
13			993.00	47.00		
14			1039.00	46.00		
15			1087.00	48.00		
16			1134.00	47.00		
17			1181.00	47.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:

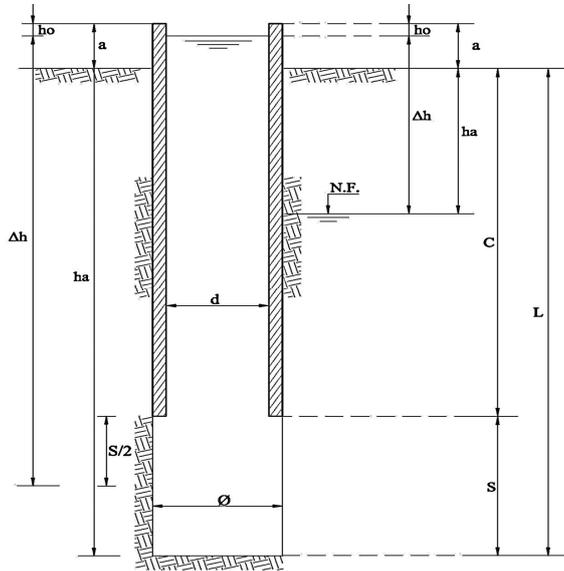
$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$   
 $k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 786.1 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 7.14E-04 cm/s

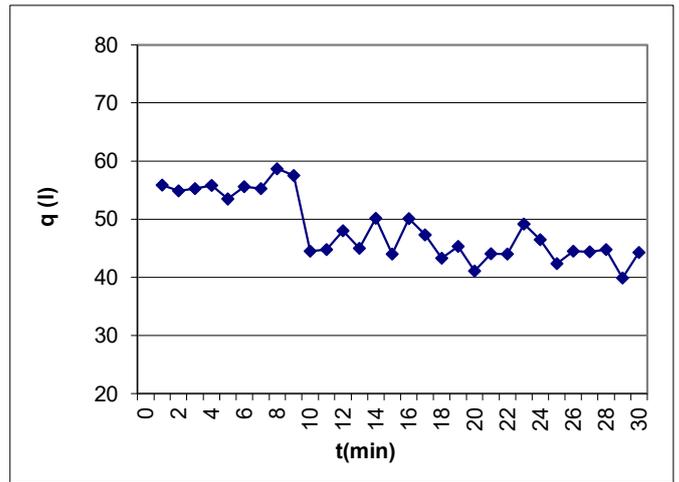


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 8
<b>Fecha:</b> 26-08-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 20:30 <b>Hr. Fin:</b> 22:00	<b>Litología:</b> Roca caliza fracturada
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 8



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	<b>0.50</b>	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	<b>34.86</b>	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	<b>35.00</b>	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	<b>36.00</b>	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica (ha+a-ho)	<b>3536.00</b>	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	<b>7.77</b>	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	<b>9.60</b>	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	<b>100.00</b>	cm
	Después del ensayo	<b>100.00</b>	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	<b>0.00</b>	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			<b>951.30</b>		<b>1871.0</b>	<b>43.30</b>
1			<b>1007.20</b>	<b>55.90</b>	<b>1916.3</b>	<b>45.30</b>
2			<b>1062.10</b>	<b>54.90</b>	<b>1957.4</b>	<b>41.10</b>
3			<b>1117.40</b>	<b>55.30</b>	<b>2001.5</b>	<b>44.10</b>
4			<b>1173.20</b>	<b>55.80</b>	<b>2045.5</b>	<b>44.00</b>
5			<b>1226.70</b>	<b>53.50</b>	<b>2094.7</b>	<b>49.20</b>
6			<b>1282.30</b>	<b>55.60</b>	<b>2141.2</b>	<b>46.50</b>
7			<b>1337.60</b>	<b>55.30</b>	<b>2183.6</b>	<b>42.40</b>
8			<b>1396.30</b>	<b>58.70</b>	<b>2228.1</b>	<b>44.50</b>
9			<b>1453.80</b>	<b>57.50</b>	<b>2272.5</b>	<b>44.40</b>
10			<b>1498.30</b>	<b>44.50</b>	<b>2317.3</b>	<b>44.80</b>
11			<b>1543.10</b>	<b>44.80</b>	<b>2357.2</b>	<b>39.90</b>
12			<b>1591.10</b>	<b>48.00</b>	<b>2401.5</b>	<b>44.30</b>
13			<b>1636.10</b>	<b>45.00</b>		
14			<b>1686.30</b>	<b>50.20</b>		
15			<b>1730.30</b>	<b>44.00</b>		
16			<b>1780.40</b>	<b>50.10</b>		
17			<b>1827.70</b>	<b>47.30</b>		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.	<b>X</b>	Infiltración	
Encima del N.F.		Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$

$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$

$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

**X**

*Donde:*  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 = \quad \Delta h_1 =$

$t_2 = \quad \Delta h_2 =$

*Donde:*

$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$

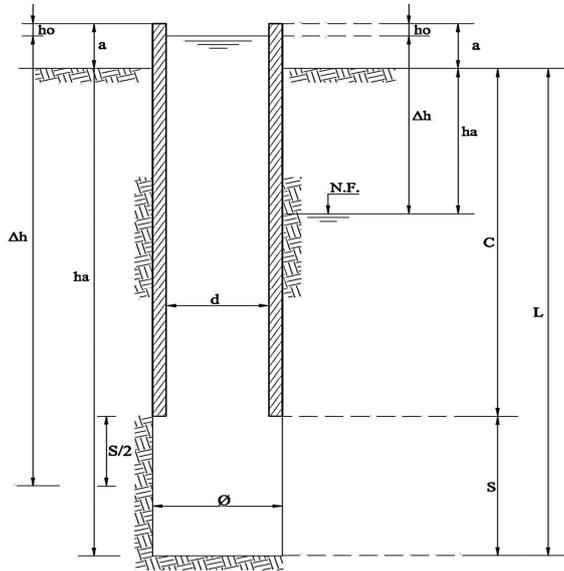
$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> <b>805.7</b> cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> <b>4.78E-04</b> cm/s

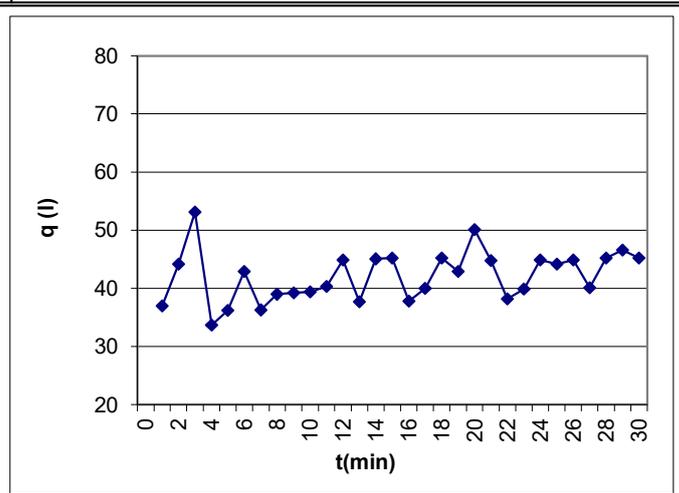


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 9
<b>Fecha:</b> 26-08-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 23:30 <b>Hr. Fin:</b> 01:00	<b>Litología:</b> Roca caliza fracturada
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 9



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.70	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	34.86	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	40.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	41.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica (ha+a-ho)	3556.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	7.77	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	100.00	cm
	Después del ensayo	100.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			904.10		1641.3	45.20
1			941.10	37.00	1684.2	42.90
2			985.30	44.20	1734.3	50.10
3			1038.40	53.10	1779.1	44.80
4			1072.10	33.70	1817.3	38.20
5			1108.30	36.20	1857.2	39.90
6			1151.20	42.90	1902.1	44.90
7			1187.50	36.30	1946.3	44.20
8			1226.50	39.00	1991.2	44.90
9			1265.70	39.20	2031.3	40.10
10			1305.10	39.40	2076.5	45.20
11			1345.40	40.30	2123.1	46.60
12			1390.30	44.90	2168.3	45.20
13			1428.00	37.70		
14			1473.10	45.10		
15			1518.30	45.20		
16			1556.10	37.80		
17			1596.10	40.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.	<b>X</b>	Infiltración	
Encima del N.F.		Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

<b>X</b>

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$$t_1 = \quad \Delta h_1 =$$

$$t_2 = \quad \Delta h_2 =$$

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

$d$  = Diámetro interior del casing

$S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)

$t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$

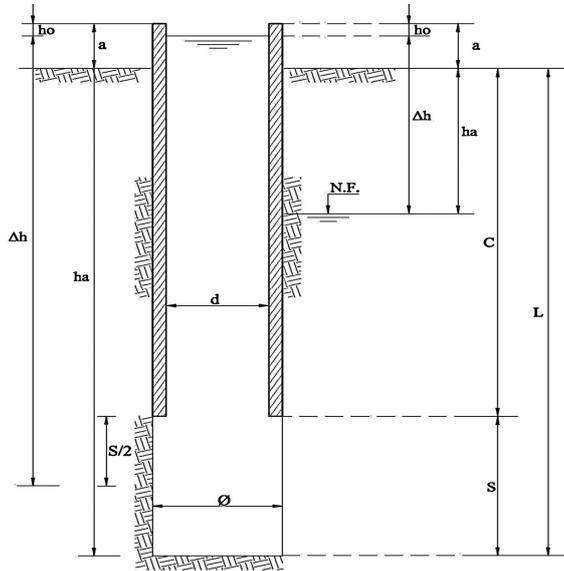
$h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

$\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 702.3 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 4.15E-04 cm/s

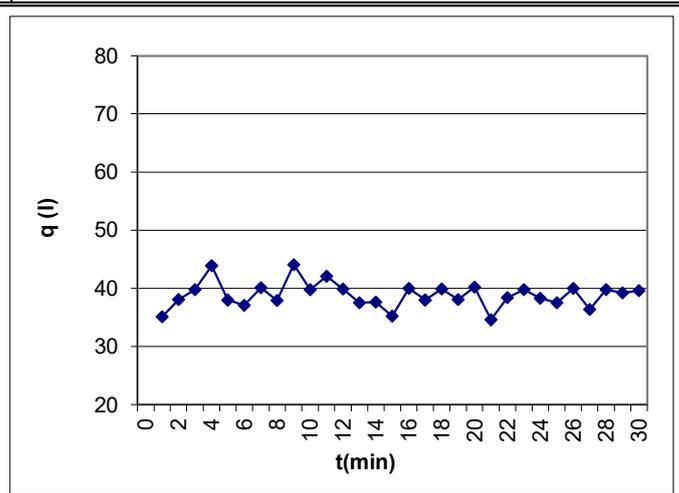


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 10
<b>Fecha:</b> 26-08-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 03:30 <b>Hr. Fin:</b> 05:00	<b>Litología:</b> Roca caliza fracturada
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 10



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.70	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	34.86	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	45.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	46.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica (ha+a-ho)	3556.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	7.77	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	100.00	cm
	Después del ensayo	100.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			362.10		1066.2	39.90
1			397.20	35.10	1104.3	38.10
2			435.30	38.10	1144.5	40.20
3			475.10	39.80	1179.1	34.60
4			519.00	43.90	1217.5	38.40
5			557.00	38.00	1257.3	39.80
6			594.10	37.10	1295.6	38.30
7			634.20	40.10	1333.1	37.50
8			672.10	37.90	1373.1	40.00
9			716.20	44.10	1409.5	36.40
10			756.00	39.80	1449.3	39.80
11			798.10	42.10	1488.5	39.20
12			838.00	39.90	1528.1	39.60
13			875.50	37.50		
14			913.10	37.60		
15			948.30	35.20		
16			988.30	40.00		
17			1026.30	38.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.	<b>X</b>	Infiltración	
Encima del N.F.		Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$

$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$

$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=  $\Delta h_1 =$   $c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$

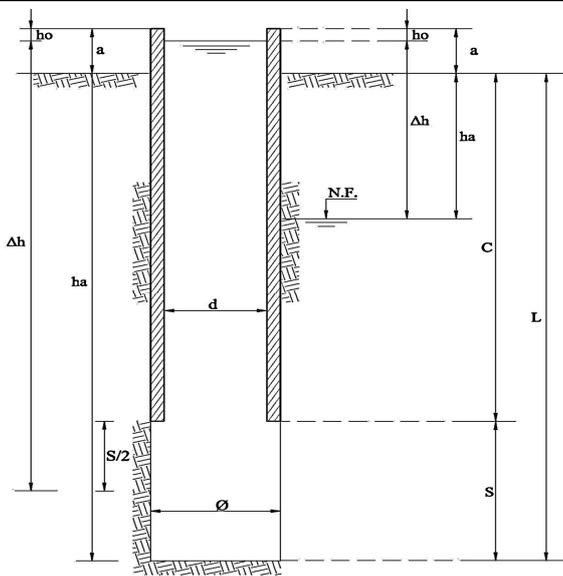
t2=  $\Delta h_2 =$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 647.8 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 3.82E-04 cm/s

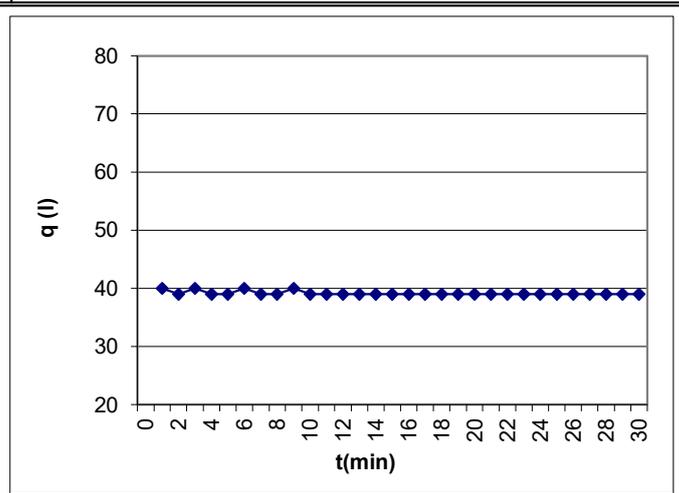


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-02
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 11
<b>Fecha:</b> 27-08-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 10:00 <b>Hr. Fin:</b> 11:00	<b>Litología:</b> Roca caliza fracturada
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 11



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	1.10	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	34.86	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	49.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	50.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica (ha+a-ho)	3596.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	7.77	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	100.00	cm
	Después del ensayo	100.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			700.00		1406.0	39.00
1			740.00	40.00	1445.0	39.00
2			779.00	39.00	1484.0	39.00
3			819.00	40.00	1523.0	39.00
4			858.00	39.00	1562.0	39.00
5			897.00	39.00	1601.0	39.00
6			937.00	40.00	1640.0	39.00
7			976.00	39.00	1679.0	39.00
8			1015.00	39.00	1718.0	39.00
9			1055.00	40.00	1757.0	39.00
10			1094.00	39.00	1796.0	39.00
11			1133.00	39.00	1835.0	39.00
12			1172.00	39.00	1874.0	39.00
13			1211.00	39.00		
14			1250.00	39.00		
15			1289.00	39.00		
16			1328.00	39.00		
17			1367.00	39.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.	<input checked="" type="checkbox"/>	Infiltración	
Encima del N.F.	<input type="checkbox"/>	Bombeo	
Artesianismo	<input type="checkbox"/>	Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$

$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$

$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

**Donde:**  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 = \Delta h_1 = c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$

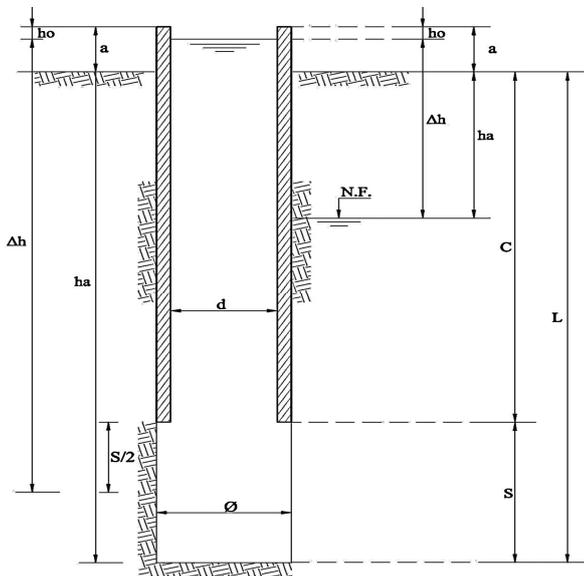
$t_2 = \Delta h_2 = k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

**Donde:**  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 652.2 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 3.81E-04 cm/s

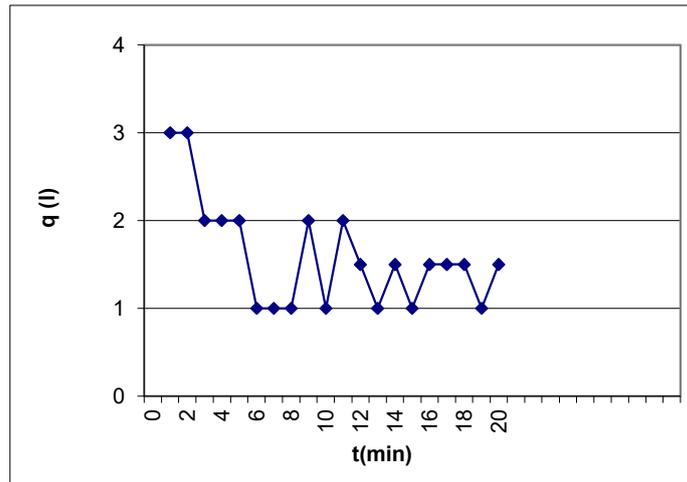


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-04
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 1
<b>Fecha:</b> 19-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 09:00 <b>Hr. Fin:</b> 10:00	<b>Litología:</b> SM
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 1



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	1.10	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	9.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	10.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	1060.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	100.00	cm
	Después del ensayo	100.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			693.0		722.5	1.5
1			696.0	3.0	723.5	1.0
2			699.0	3.0	725.0	1.5
3			701.0	2.0		
4			703.0	2.0		
5			705.0	2.0		
6			706.0	1.0		
7			707.0	1.0		
8			708.0	1.0		
9			710.0	2.0		
10			711.0	1.0		
11			713.0	2.0		
12			714.5	1.5		
13			715.5	1.0		
14			717.0	1.5		
15			718.0	1.0		
16			719.5	1.5		
17			721.0	1.5		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	X
Encima del N.F.	X	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

X

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=                      Δh1=

t2=                      Δh2=

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

Donde:

$d$  = Diámetro interior del casing

$S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)

$t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$

$h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

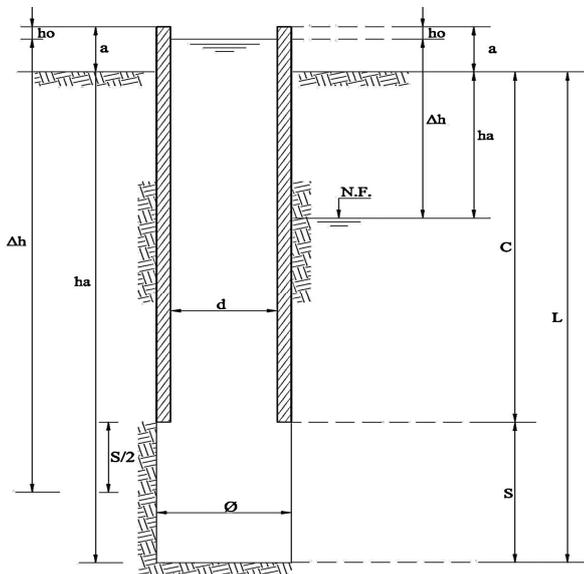
$\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 24.1 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 4.77E-05 cm/s

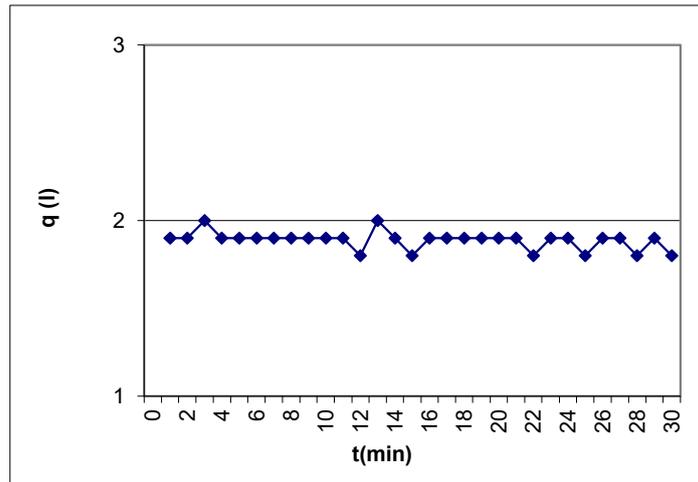


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-04
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 2
<b>Fecha:</b> 19-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 15:30 <b>Hr. Fin:</b> 16:30	<b>Litología:</b> CL
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 2



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	1.60	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	16.00	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	17.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	1810.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	100.00	cm
	Después del ensayo	100.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			829.0		863.2	1.9
1			830.9	1.9	865.1	1.9
2			832.8	1.9	867.0	1.9
3			834.8	2.0	868.9	1.9
4			836.7	1.9	870.7	1.8
5			838.6	1.9	872.6	1.9
6			840.5	1.9	874.5	1.9
7			842.4	1.9	876.3	1.8
8			844.3	1.9	878.2	1.9
9			846.2	1.9	880.1	1.9
10			848.1	1.9	881.9	1.8
11			850.0	1.9	883.8	1.9
12			851.8	1.8	885.6	1.8
13			853.8	2.0		
14			855.7	1.9		
15			857.5	1.8		
16			859.4	1.9		
17			861.3	1.9		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	X
Encima del N.F.	X	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

X

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=  $\Delta h_1$ =

t2=  $\Delta h_2$ =

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{a} + \left(\frac{s^2}{a^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:

$d$  = Diámetro interior del casing

$S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)

$t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$

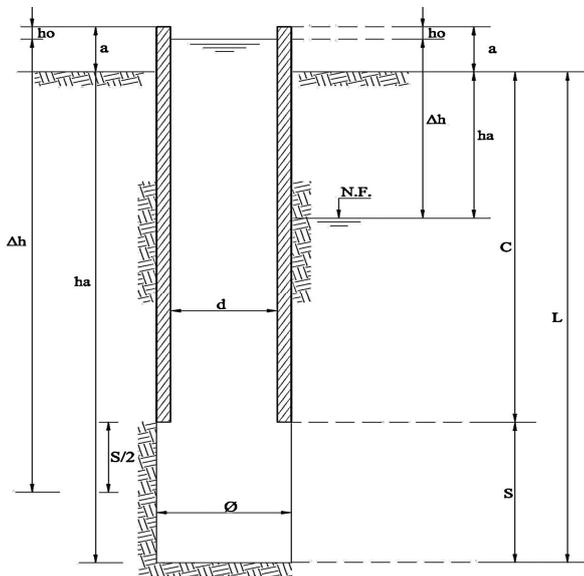
$h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

$\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 31.4 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 3.65E-05 cm/s

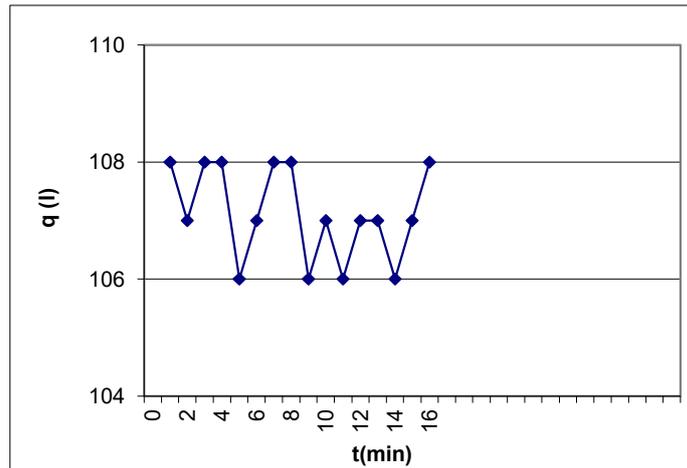


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-04
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 3
<b>Fecha:</b> 20-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 13:30 <b>Hr. Fin:</b> 14:30	<b>Litología:</b> ML
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 3



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.30	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	23.30	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	24.30	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	2410.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	100.00	cm
	Después del ensayo	100.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			170.0			
1			278.0	108.0		
2			385.0	107.0		
3			493.0	108.0		
4			601.0	108.0		
5			707.0	106.0		
6			814.0	107.0		
7			922.0	108.0		
8			1030.0	108.0		
9			1136.0	106.0		
10			1243.0	107.0		
11			1349.0	106.0		
12			1456.0	107.0		
13			1563.0	107.0		
14			1669.0	106.0		
15			1776.0	107.0		
16			1884.0	108.0		
17						



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	X
Encima del N.F.	X	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

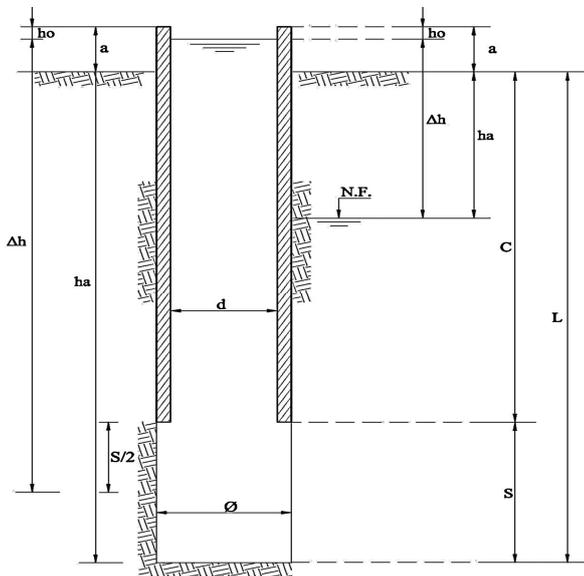
$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> Con la máxima potencia de la bomba de agua no se logra llenar toda la columna de perforación. Se toma lectura del caudal en la máxima potencia. Tramo de ensayo de alta permeabilidad.	<b>Caudal (Q):</b> 1785.4 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.55E-03 cm/s

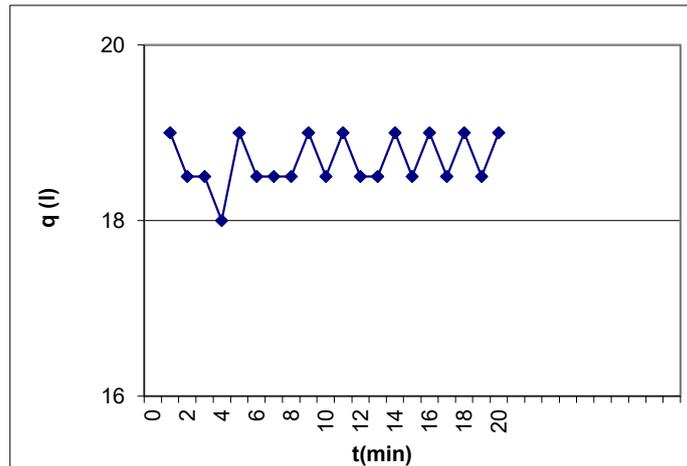


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-04
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 4
<b>Fecha:</b> 21-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 08:00 <b>Hr. Fin:</b> 09:00	<b>Litología:</b> Caliza
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 4



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.50	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	30.60	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	32.70	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	3215.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	210.00	cm
	Después del ensayo	210.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			20.0		356.0	19.0
1			39.0	19.0	374.5	18.5
2			57.5	18.5	393.5	19.0
3			76.0	18.5		
4			94.0	18.0		
5			113.0	19.0		
6			131.5	18.5		
7			150.0	18.5		
8			168.5	18.5		
9			187.5	19.0		
10			206.0	18.5		
11			225.0	19.0		
12			243.5	18.5		
13			262.0	18.5		
14			281.0	19.0		
15			299.5	18.5		
16			318.5	19.0		
17			337.0	18.5		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	X
Encima del N.F.	X	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

X

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=                      Δh1=

t2=                      Δh2=

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

Donde:

$d$  = Diámetro interior del casing

$S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)

$t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$

$h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

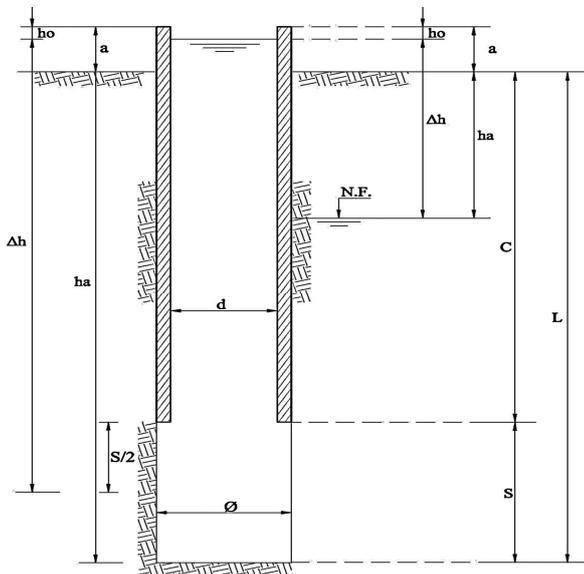
$\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 311.3 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.20E-04 cm/s

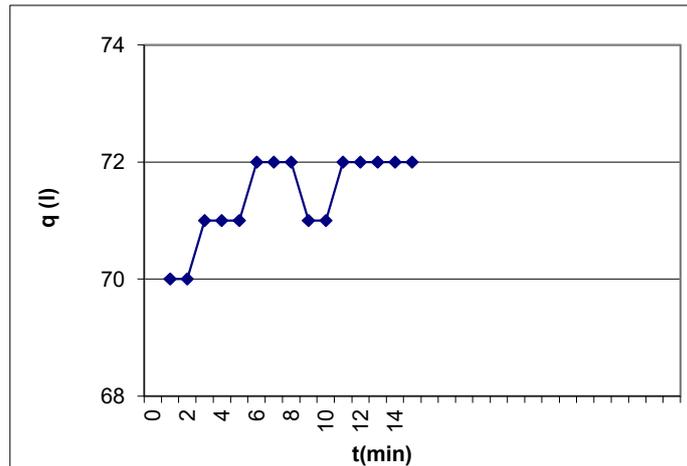


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-04
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 5
<b>Fecha:</b> 21-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 11:30 <b>Hr. Fin:</b> 12:30	<b>Litología:</b> Caliza
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 5



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	1.15	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	40.45	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	41.70	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	4222.50	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	125.00	cm
	Después del ensayo	125.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			50.0			
1			120.0	70.0		
2			190.0	70.0		
3			261.0	71.0		
4			332.0	71.0		
5			403.0	71.0		
6			475.0	72.0		
7			547.0	72.0		
8			619.0	72.0		
9			690.0	71.0		
10			761.0	71.0		
11			833.0	72.0		
12			905.0	72.0		
13			977.0	72.0		
14			1049.0	72.0		
15			1121.0	72.0		
16						
17						



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	X
Encima del N.F.	X	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi=0 \quad K = Q/\Delta h\phi\pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h\phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi\Delta hS$$

X

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t1=  $\Delta h_1$ =

t2=  $\Delta h_2$ =

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

Donde:

$d$  = Diámetro interior del casing

$S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)

$t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$

$h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .

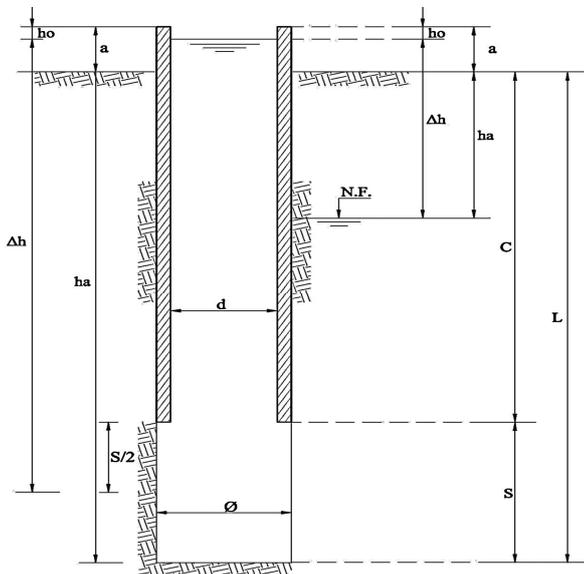
$\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1190.0 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 5.08E-04 cm/s

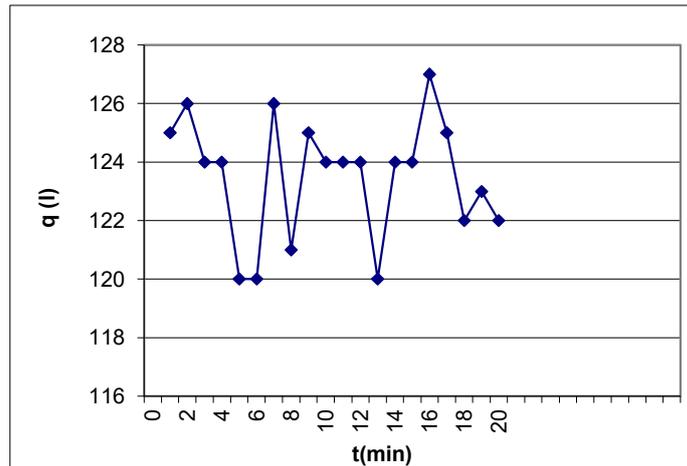


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-04
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 6
<b>Fecha:</b> 21-10-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 02:00 <b>Hr. Fin:</b> 03:00	<b>Litología:</b> Caliza
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 6



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	1.70	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	56.10	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	57.20	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	5835.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HQ)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	110.00	cm
	Después del ensayo	110.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			595.0		2820.0	122.0
1			720.0	125.0	2943.0	123.0
2			846.0	126.0	3065.0	122.0
3			970.0	124.0		
4			1094.0	124.0		
5			1214.0	120.0		
6			1334.0	120.0		
7			1460.0	126.0		
8			1581.0	121.0		
9			1706.0	125.0		
10			1830.0	124.0		
11			1954.0	124.0		
12			2078.0	124.0		
13			2198.0	120.0		
14			2322.0	124.0		
15			2446.0	124.0		
16			2573.0	127.0		
17			2698.0	125.0		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	X
Encima del N.F.	X	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi=0 \quad K = Q/\Delta h\phi\pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h\phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi\Delta hS$$

X

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

t1=                      Δh1=

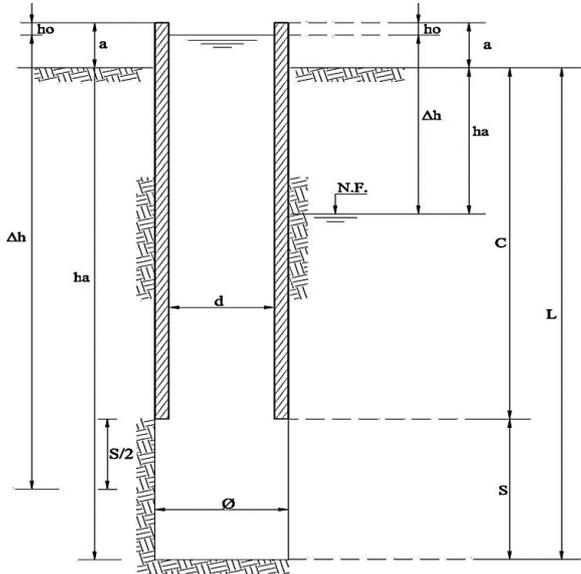
t2=                      Δh2=

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> Con la máxima potencia de la bomba de agua no se logra llenar toda la columna de perforación. Se toma lectura del caudal en la máxima potencia. Tramo de ensayo de alta permeabilidad.	<b>Caudal (Q):</b> 2058.3 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 6.94E-04 cm/s

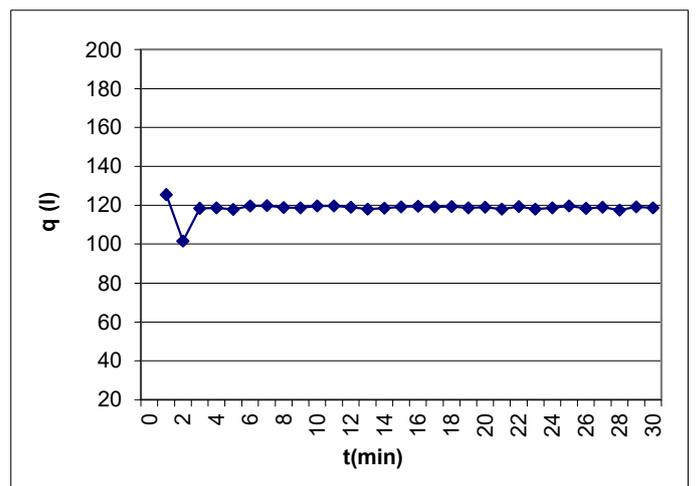


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-10
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 1
<b>Fecha:</b> 03-10-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 05:00 <b>Hr. Fin:</b> 06:30	<b>Litología:</b> GW
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 1



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	8.50	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	9.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	35.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Después del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	840.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			872.20		3002.7	119.30
1			997.70	125.50	3121.4	118.70
2			1099.30	101.60	3240.4	119.00
3			1217.70	118.40	3358.3	117.90
4			1336.40	118.70	3477.5	119.20
5			1454.20	117.80	3595.5	118.00
6			1573.80	119.60	3714.1	118.60
7			1693.60	119.80	3833.8	119.70
8			1812.40	118.80	3952.2	118.40
9			1931.00	118.60	4071.2	119.00
10			2050.70	119.70	4188.7	117.50
11			2170.40	119.70	4307.8	119.10
12			2289.30	118.90	4426.5	118.70
13			2407.20	117.90		
14			2525.70	118.50		
15			2644.80	119.10		
16			2764.30	119.50		
17			2883.40	119.10		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

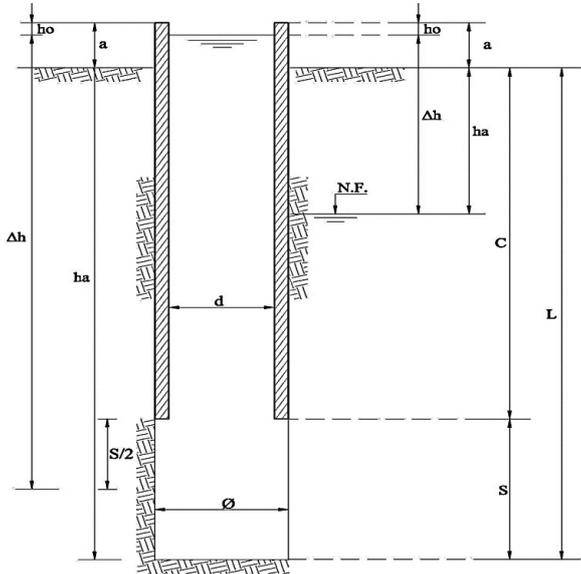
$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Caudal (Q):</b> 1974.6 cm <sup>3</sup> /s <b>Coeficiente de forma (c):</b> - <b>Permeabilidad (k):</b> 1.83E-01 cm/s
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

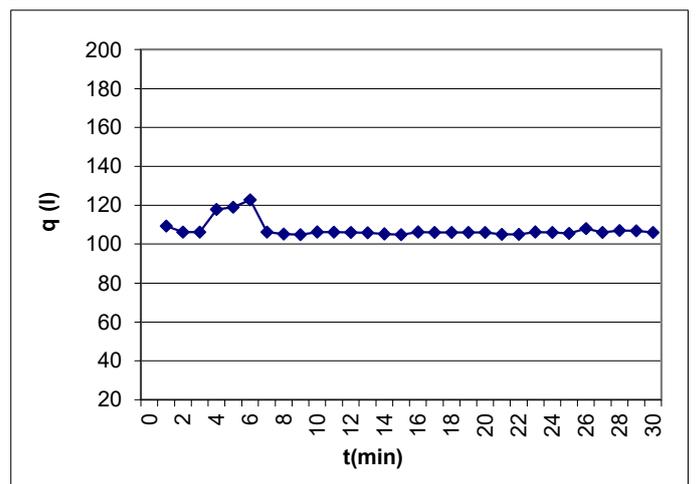


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-10
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 2
<b>Fecha:</b> 04-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 14:00 <b>Hr. Fin:</b> 15:00	<b>Litología:</b> GW
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 2



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	17.50	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	18.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	30.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Despues del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	1745.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			21.90		1971.2	105.90
1			131.30	109.40	2077.1	105.90
2			237.40	106.10	2183.1	106.00
3			343.50	106.10	2288.1	105.00
4			461.30	117.80	2393.1	105.00
5			580.30	119.00	2499.4	106.30
6			703.10	122.80	2605.3	105.90
7			809.20	106.10	2710.9	105.60
8			914.30	105.10	2818.9	108.00
9			1019.10	104.80	2924.9	106.00
10			1125.30	106.20	3031.9	107.00
11			1231.40	106.10	3138.7	106.80
12			1337.30	105.90	3244.7	106.00
13			1443.10	105.80		
14			1548.30	105.20		
15			1653.10	104.80		
16			1759.30	106.20		
17			1865.30	106.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

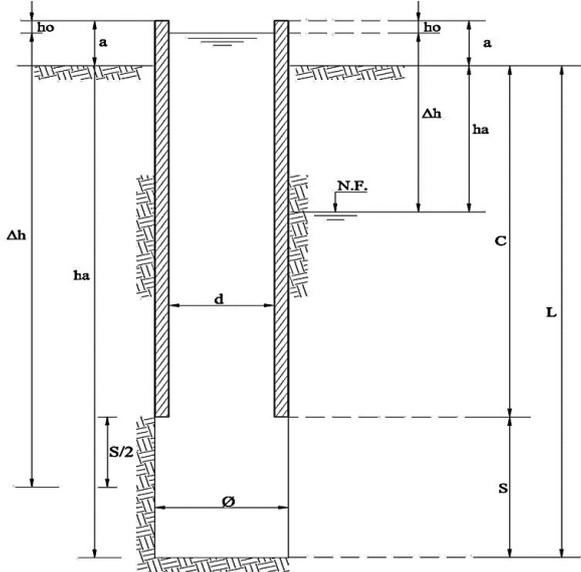
$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Caudal (Q):</b> 1790.4 cm <sup>3</sup> /s <b>Coeficiente de forma (c):</b> - <b>Permeabilidad (k):</b> 1.93E-01 cm/s
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

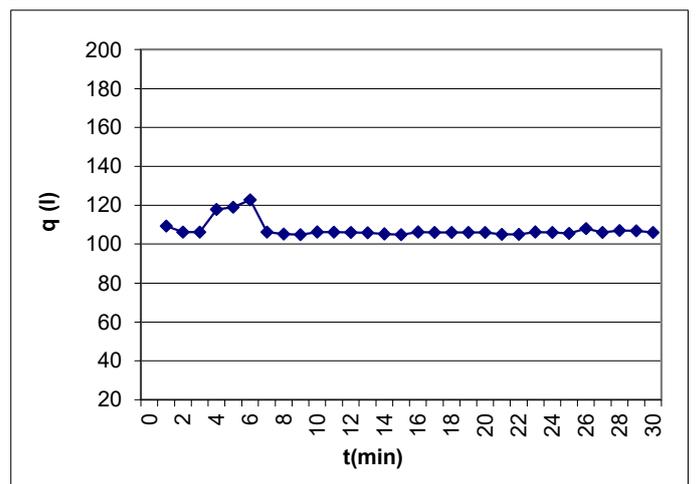


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-10
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 3
<b>Fecha:</b> 04-10-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 02:30 <b>Hr. Fin:</b> 03:30	<b>Litología:</b> GW
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 3



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	26.50	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	27.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	35.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Despues del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	2640.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			21.90		1971.2	105.90
1			131.30	109.40	2077.1	105.90
2			237.40	106.10	2183.1	106.00
3			343.50	106.10	2288.1	105.00
4			461.30	117.80	2393.1	105.00
5			580.30	119.00	2499.4	106.30
6			703.10	122.80	2605.3	105.90
7			809.20	106.10	2710.9	105.60
8			914.30	105.10	2818.9	108.00
9			1019.10	104.80	2924.9	106.00
10			1125.30	106.20	3031.9	107.00
11			1231.40	106.10	3138.7	106.80
12			1337.30	105.90	3244.7	106.00
13			1443.10	105.80		
14			1548.30	105.20		
15			1653.10	104.80		
16			1759.30	106.20		
17			1865.30	106.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

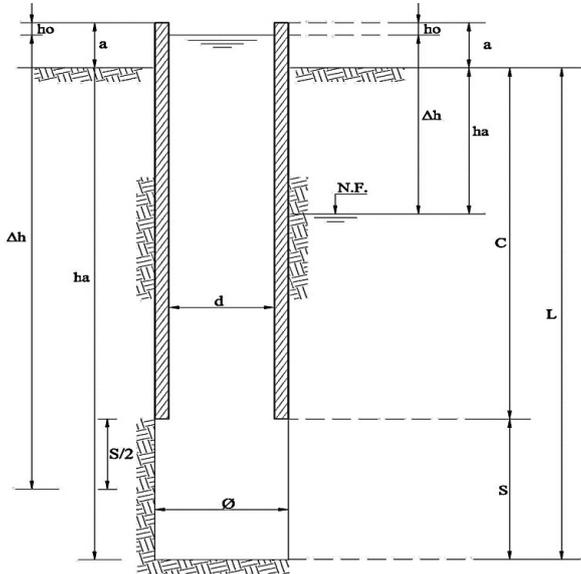
$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1790.4 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.66E-01 cm/s

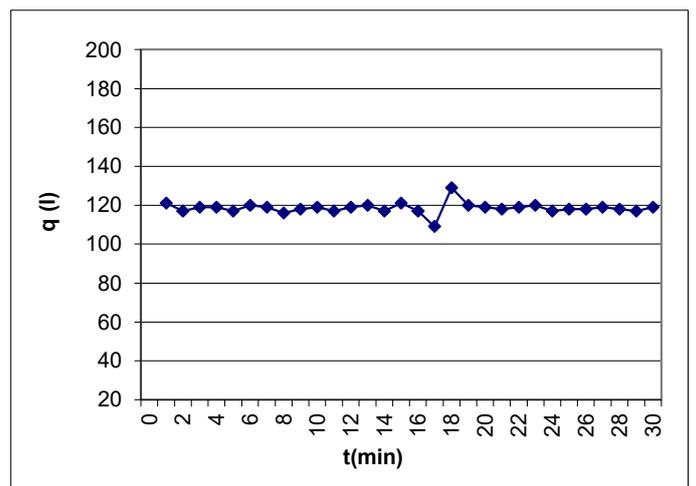


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-10
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 4
<b>Fecha:</b> 05-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 16:30 <b>Hr. Fin:</b> 17:30	<b>Litología:</b> GW
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 4



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	35.50	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	36.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	37.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Despues del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	3538.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			130.00		2264.0	129.00
1			251.00	121.00	2384.0	120.00
2			368.00	117.00	2503.0	119.00
3			487.00	119.00	2621.0	118.00
4			606.00	119.00	2740.0	119.00
5			723.00	117.00	2860.0	120.00
6			843.00	120.00	2977.0	117.00
7			962.00	119.00	3095.0	118.00
8			1078.00	116.00	3213.0	118.00
9			1196.00	118.00	3332.0	119.00
10			1315.00	119.00	3450.0	118.00
11			1432.00	117.00	3567.0	117.00
12			1551.00	119.00	3686.0	119.00
13			1671.00	120.00		
14			1788.00	117.00		
15			1909.00	121.00		
16			2026.00	117.00		
17			2135.00	109.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:

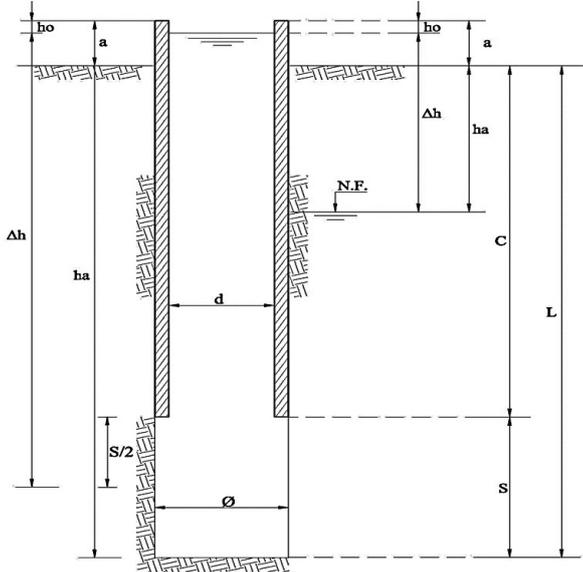
$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$   
 $k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1975.6 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.73E-01 cm/s

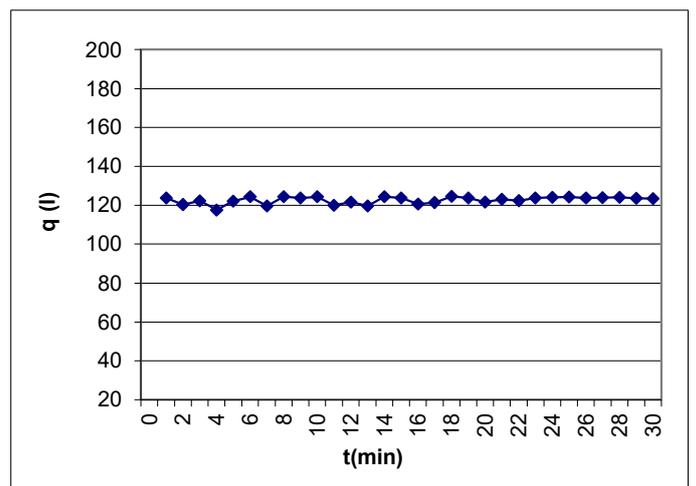


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-10
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 5
<b>Fecha:</b> 05-10-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 02:00 <b>Hr. Fin:</b> 03:00	<b>Litología:</b> GW
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 5



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	44.50	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	45.00	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	35.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Despues del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	4440.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			793.40		2991.8	124.60
1			917.20	123.80	3115.6	123.80
2			1037.60	120.40	3237.2	121.60
3			1159.80	122.20	3360.2	123.00
4			1277.40	117.60	3482.5	122.30
5			1399.40	122.00	3606.3	123.80
6			1523.70	124.30	3730.3	124.00
7			1643.40	119.70	3854.5	124.20
8			1767.80	124.40	3978.3	123.80
9			1891.50	123.70	4102.2	123.90
10			2015.80	124.30	4226.2	124.00
11			2135.70	119.90	4349.8	123.60
12			2257.40	121.70	4473.3	123.50
13			2377.10	119.70		
14			2501.60	124.50		
15			2625.30	123.70		
16			2745.90	120.60		
17			2867.20	121.30		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

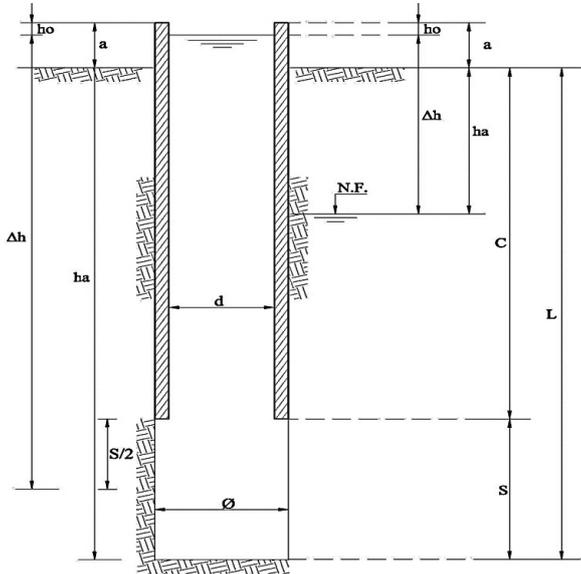
$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Caudal (Q):</b> 2044.4 cm <sup>3</sup> /s <b>Coeficiente de forma (c):</b> - <b>Permeabilidad (k):</b> 1.89E-01 cm/s
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

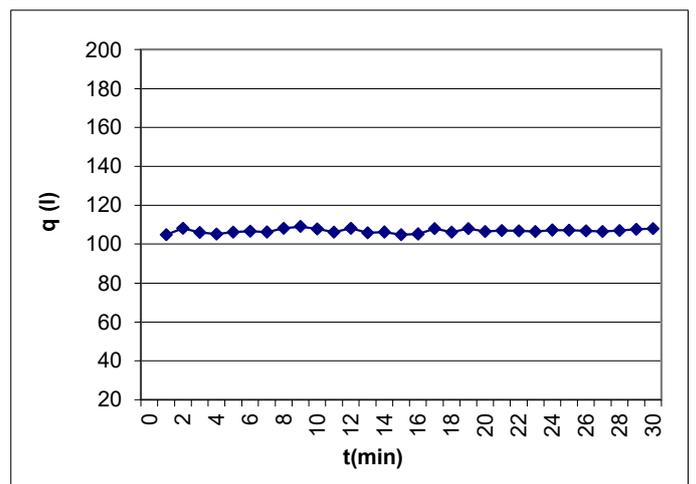


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-10
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 6
<b>Fecha:</b> 07-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 08:30 <b>Hr. Fin:</b> 09:30	<b>Litología:</b> GW-ROCA
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 6



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	49.40	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	51.40	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	105.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	200.00	cm
	Despues del ensayo	200.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	4935.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			124.30		2042.3	106.10
1			229.10	104.80	2150.2	107.90
2			337.20	108.10	2256.7	106.50
3			443.10	105.90	2363.7	107.00
4			548.20	105.10	2470.5	106.80
5			654.30	106.10	2577.0	106.50
6			761.00	106.70	2684.2	107.20
7			867.20	106.20	2791.3	107.10
8			975.30	108.10	2898.1	106.80
9			1084.30	109.00	3004.6	106.50
10			1192.10	107.80	3111.6	107.00
11			1298.20	106.10	3219.2	107.60
12			1406.30	108.10	3327.2	108.00
13			1512.10	105.80		
14			1618.30	106.20		
15			1723.10	104.80		
16			1828.30	105.20		
17			1936.20	107.90		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

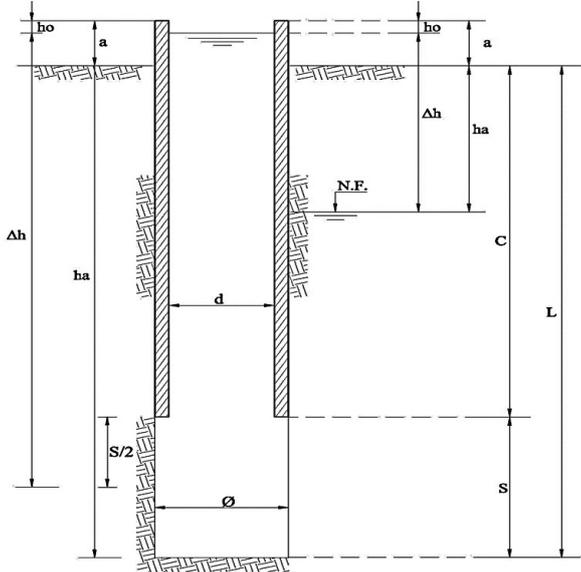
$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1779.4 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 2.18E-02 cm/s

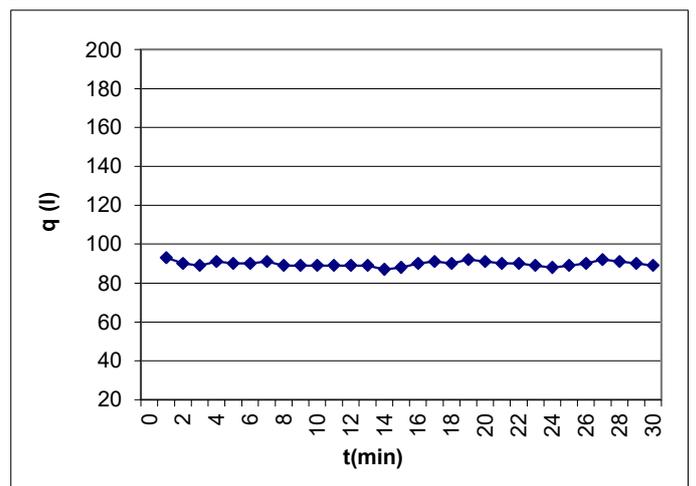


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-10
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 7
<b>Fecha:</b> 07-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 10:30 <b>Hr. Fin:</b> 11:30	<b>Litología:</b> Roca
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 7



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	51.70	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	52.20	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	5195.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Despues del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	0.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			495.00		2109.0	90.00
1			588.00	93.00	2201.0	92.00
2			678.00	90.00	2292.0	91.00
3			767.00	89.00	2382.0	90.00
4			858.00	91.00	2472.0	90.00
5			948.00	90.00	2561.0	89.00
6			1038.00	90.00	2649.0	88.00
7			1129.00	91.00	2738.0	89.00
8			1218.00	89.00	2828.0	90.00
9			1307.00	89.00	2920.0	92.00
10			1396.00	89.00	3011.0	91.00
11			1485.00	89.00	3101.0	90.00
12			1574.00	89.00	3190.0	89.00
13			1663.00	89.00		
14			1750.00	87.00		
15			1838.00	88.00		
16			1928.00	90.00		
17			2019.00	91.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

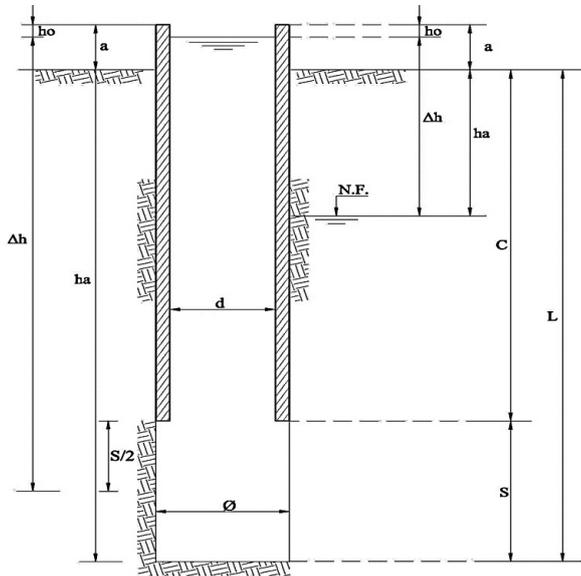
$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b> La columna de perforación se logra llenar.	<b>Caudal (Q):</b> 1497.2 cm <sup>3</sup> /s
	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 9.34E-04 cm/s

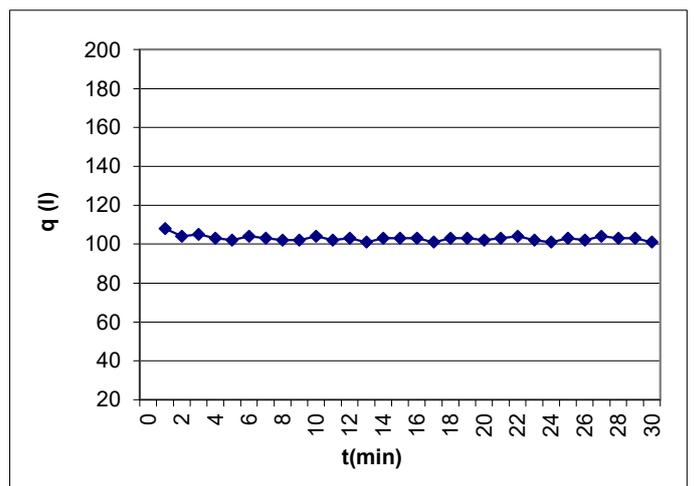


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-13
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 1
<b>Fecha:</b> 07-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 14:00 <b>Hr. Fin:</b> 15:30	<b>Litología:</b> Desmonte
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 1



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	<b>0.00</b>	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	<b>N.E.</b>	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	<b>8.50</b>	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	<b>9.00</b>	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	<b>5.00</b>	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	<b>10.16</b>	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	<b>9.60</b>	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	<b>50.00</b>	cm
	Despues del ensayo	<b>50.00</b>	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	<b>870.00</b>	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t (min)	hn (cm)	Δh (cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			600.00		2456.0	103.00
1			708.00	108.00	2559.0	103.00
2			812.00	104.00	2661.0	102.00
3			917.00	105.00	2764.0	103.00
4			1020.00	103.00	2868.0	104.00
5			1122.00	102.00	2970.0	102.00
6			1226.00	104.00	3071.0	101.00
7			1329.00	103.00	3174.0	103.00
8			1431.00	102.00	3276.0	102.00
9			1533.00	102.00	3380.0	104.00
10			1637.00	104.00	3483.0	103.00
11			1739.00	102.00	3586.0	103.00
12			1842.00	103.00	3687.0	101.00
13			1943.00	101.00		
14			2046.00	103.00		
15			2149.00	103.00		
16			2252.00	103.00		
17			2353.00	101.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \cdot \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>X</b>

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t<sub>1</sub> =                      Δh<sub>1</sub> =

t<sub>2</sub> =                      Δh<sub>2</sub> =

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

Donde:

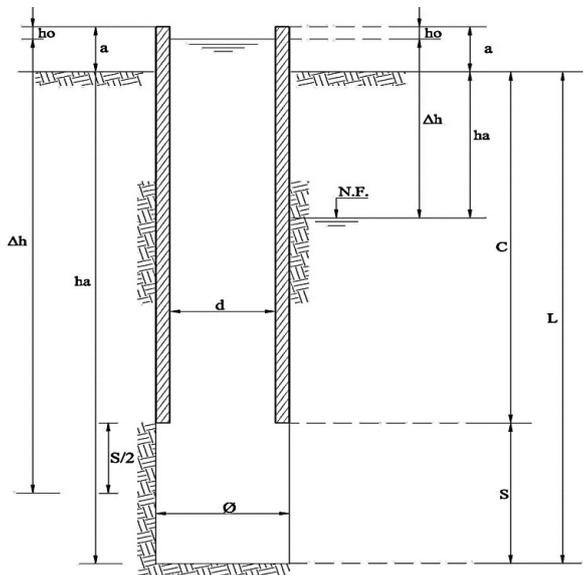
$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1715.0 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.11E+00 cm/s

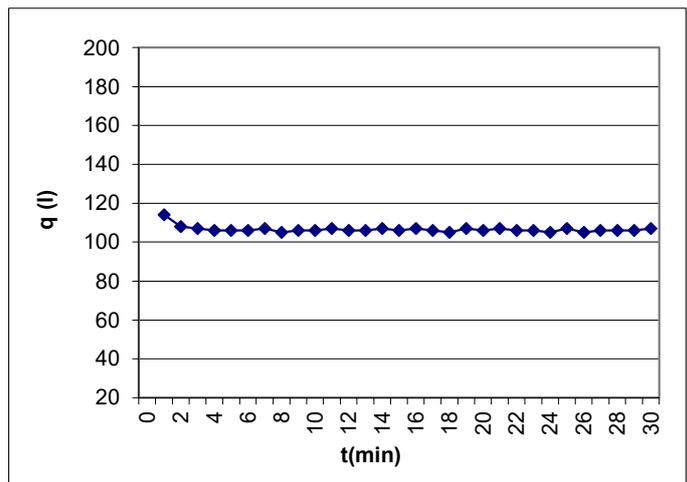


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-13
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 2
<b>Fecha:</b> 08-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 13:00 <b>Hr. Fin:</b> 14:00	<b>Litología:</b> Desmonte
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 2



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	17.40	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	17.90	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	5.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Despues del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	1760.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			300.00		2221.0	105.00
1			414.00	114.00	2328.0	107.00
2			522.00	108.00	2434.0	106.00
3			629.00	107.00	2541.0	107.00
4			735.00	106.00	2647.0	106.00
5			841.00	106.00	2753.0	106.00
6			947.00	106.00	2858.0	105.00
7			1054.00	107.00	2965.0	107.00
8			1159.00	105.00	3070.0	105.00
9			1265.00	106.00	3176.0	106.00
10			1371.00	106.00	3282.0	106.00
11			1478.00	107.00	3388.0	106.00
12			1584.00	106.00	3495.0	107.00
13			1690.00	106.00		
14			1797.00	107.00		
15			1903.00	106.00		
16			2010.00	107.00		
17			2116.00	106.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q / \Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q / \Delta h \phi 2\pi \cdot \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

<b>X</b>

**Donde:**     $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$$t_1 = \quad \Delta h_1 =$$

$$t_2 = \quad \Delta h_2 =$$

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

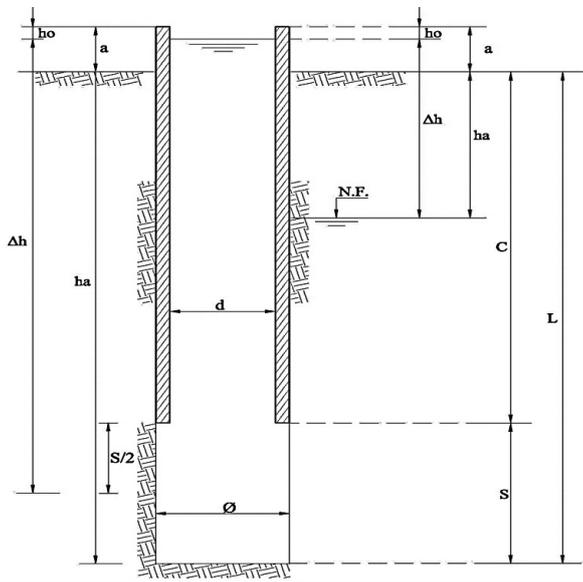
$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

**Donde:**  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1775.0 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.15E+00 cm/s

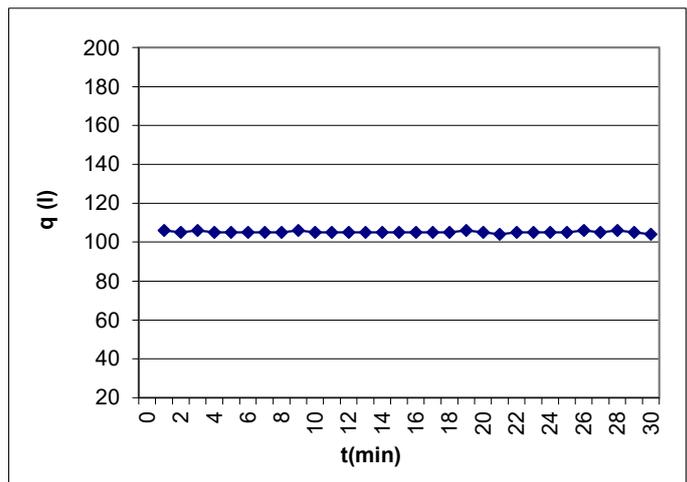


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-13
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 3
<b>Fecha:</b> 10-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 11:00 <b>Hr. Fin:</b> 12:00	<b>Litología:</b> Desmonte
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 3



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	27.20	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	27.50	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	15.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	30.00	cm
	Despues del ensayo	30.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	2720.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			0.00		1893.0	105.00
1			106.00	106.00	1999.0	106.00
2			211.00	105.00	2104.0	105.00
3			317.00	106.00	2208.0	104.00
4			422.00	105.00	2313.0	105.00
5			527.00	105.00	2418.0	105.00
6			632.00	105.00	2523.0	105.00
7			737.00	105.00	2628.0	105.00
8			842.00	105.00	2734.0	106.00
9			948.00	106.00	2839.0	105.00
10			1053.00	105.00	2945.0	106.00
11			1158.00	105.00	3050.0	105.00
12			1263.00	105.00	3154.0	104.00
13			1368.00	105.00		
14			1473.00	105.00		
15			1578.00	105.00		
16			1683.00	105.00		
17			1788.00	105.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$   
 $S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \cdot \sqrt{S/\phi + 1/4}$   
 $S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$

Donde:  $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**X**

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 = \quad \Delta h_1 =$   
 $t_2 = \quad \Delta h_2 =$

Donde:

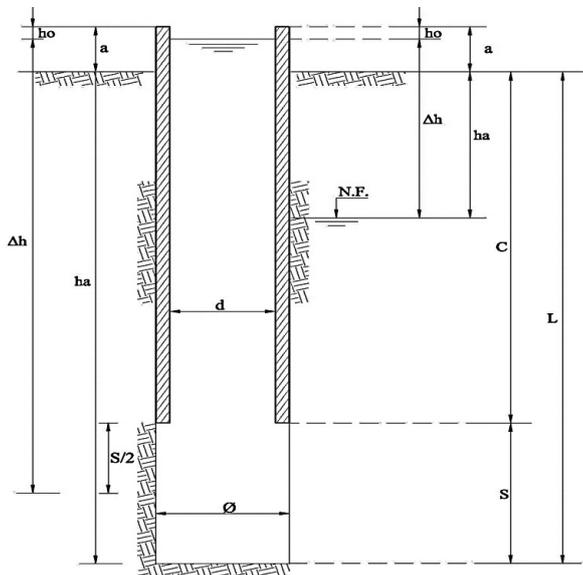
$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{S}{d} + \left(\frac{S^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$   
 $k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$

$d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1752.2 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 4.93E-01 cm/s

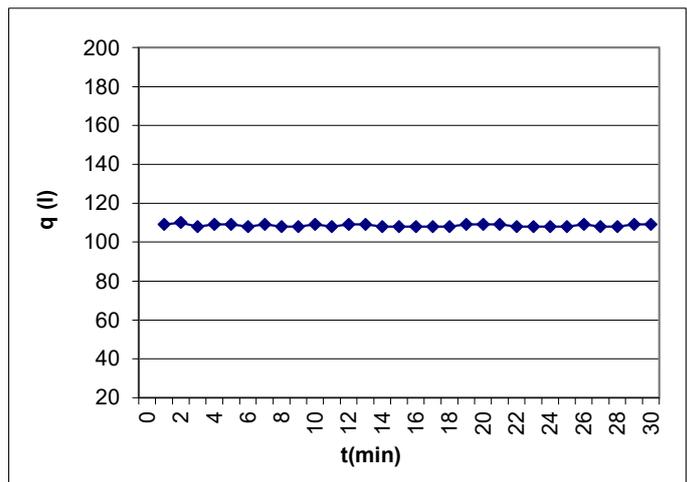


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-13
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 4
<b>Fecha:</b> 10-10-2020 (A) <b>Hr. Inicio:</b> 15:00 <b>Hr. Fin:</b> 16:00	<b>Litología:</b> Desmonte
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 4



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	32.70	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	33.50	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	40.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	80.00	cm
	Despues del ensayo	80.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	3270.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			500.00		2453.0	108.00
1			609.00	109.00	2562.0	109.00
2			719.00	110.00	2671.0	109.00
3			827.00	108.00	2780.0	109.00
4			936.00	109.00	2888.0	108.00
5			1045.00	109.00	2996.0	108.00
6			1153.00	108.00	3104.0	108.00
7			1262.00	109.00	3212.0	108.00
8			1370.00	108.00	3321.0	109.00
9			1478.00	108.00	3429.0	108.00
10			1587.00	109.00	3537.0	108.00
11			1695.00	108.00	3646.0	109.00
12			1804.00	109.00	3755.0	109.00
13			1913.00	109.00		
14			2021.00	108.00		
15			2129.00	108.00		
16			2237.00	108.00		
17			2345.00	108.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \cdot \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

<b>X</b>

**Donde:**     $Q$  = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 $\phi$  = Diametro de perforación (cm)  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $k$  = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

$t_1 =$                        $\Delta h_1 =$

$t_2 =$                        $\Delta h_2 =$

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

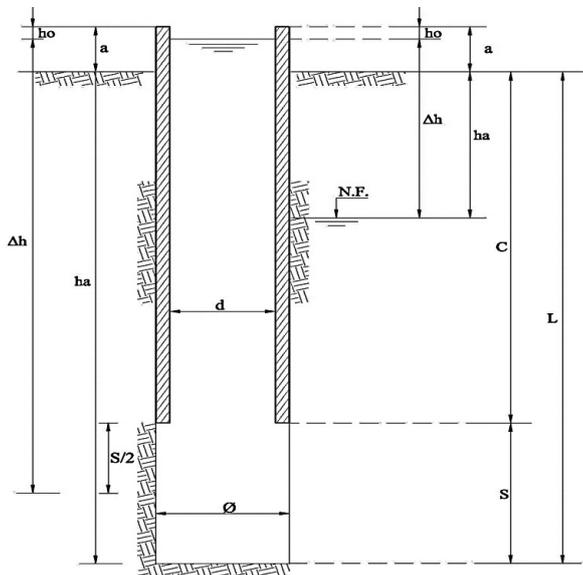
$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

**Donde:**  
 $d$  = Diámetro interior del casing  
 $S$  = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 $t_1$  y  $t_2$  = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar  $h_1$  y  $h_2$   
 $h_1$  y  $h_2$  = Recuperación en los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ .  
 $\Delta h$  = Sobrecarga hidráulica (m)

<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1808.3 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 1.10E-01 cm/s

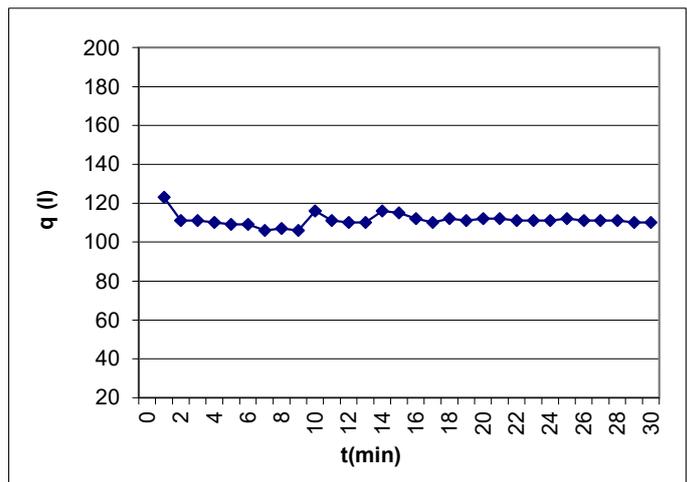


<b>Zona:</b> Depósitos Gavilán	<b>Sondeo:</b> GTg-13
<b>Ubicación:</b> Yauli, Junín	<b>Ensayo:</b> 5
<b>Fecha:</b> 10-10-2020 (B) <b>Hr. Inicio:</b> 20:00 <b>Hr. Fin:</b> 21:00	<b>Litología:</b> Dolomia y caliza
<b>Registrado:</b> CD	<b>Hoja:</b> 5



<b>a</b>	Altura revest. sobre nivel del terreno	0.00	m
<b>ha</b>	Profundidad nivel freático	N.E.	m
<b>C</b>	Profundidad de la zapata	35.90	m
<b>L</b>	Profundidad de la perforación	36.40	m
<b>Δh</b>	Sobrecarga hidráulica	25.00	cm
<b>d</b>	Diametro interior del revestimiento (HW)	10.16	cm
<b>Ø</b>	Diametro perforación (HQ)	9.60	cm
<b>S</b>	Longitud de tramo de ensayo		
	Antes del ensayo	50.00	cm
	Despues del ensayo	50.00	cm
<b>ho</b>	Profundidad inicial del agua (t=0)	3590.00	cm

NIVEL VARIABLE			NIVEL CONSTANTE			
t(min)	hn(cm)	Δh(cm)	Lectura	q	Lectura	q
0			111.00		2115.0	112.00
1			234.00	123.00	2226.0	111.00
2			345.00	111.00	2338.0	112.00
3			456.00	111.00	2450.0	112.00
4			566.00	110.00	2561.0	111.00
5			675.00	109.00	2672.0	111.00
6			784.00	109.00	2783.0	111.00
7			890.00	106.00	2895.0	112.00
8			997.00	107.00	3006.0	111.00
9			1103.00	106.00	3117.0	111.00
10			1219.00	116.00	3228.0	111.00
11			1330.00	111.00	3338.0	110.00
12			1440.00	110.00	3448.0	110.00
13			1550.00	110.00		
14			1666.00	116.00		
15			1781.00	115.00		
16			1893.00	112.00		
17			2003.00	110.00		



TIPO DE ENSAYO			
Debajo del N.F.		Infiltración	
Encima del N.F.	<b>X</b>	Bombeo	
Artesianismo		Recuperación	
		Rebajamiento	

**CALCULO DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD**

**ENSAYO A NIVEL CONSTANTE**

$$S/\phi = 0 \quad K = Q/\Delta h \phi \pi$$

$$S/\phi \leq 2 \quad K = Q/\Delta h \phi 2\pi \sqrt{S/\phi + 1/4}$$

$$S/\phi > 2 \quad K = Q \log \frac{2S}{\phi} / 2\pi \Delta h S$$

<b>X</b>

**Donde:** Q = Caudal (cm<sup>3</sup>/s)  
 Ø = Diametro de perforación (cm)  
 S = Longitud del tramo de ensayo (cm)  
 k = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)  
 Δh = Sobrecarga hidráulica (m)

**ENSAYO A NIVEL VARIABLE**

t<sub>1</sub> =                    Δh<sub>1</sub> =

t<sub>2</sub> =                    Δh<sub>2</sub> =

$$c = \frac{2\pi S}{\ln\left(\frac{s}{d} + \left(\frac{s^2}{d^2} + 1\right)^{1/2}\right)}$$

**Donde:**

d = Diámetro interior del casing

S = Longitud del tramo de ensayo (cm)

t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub> = Tiempos en que fueron las mediciones para determinar h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub>

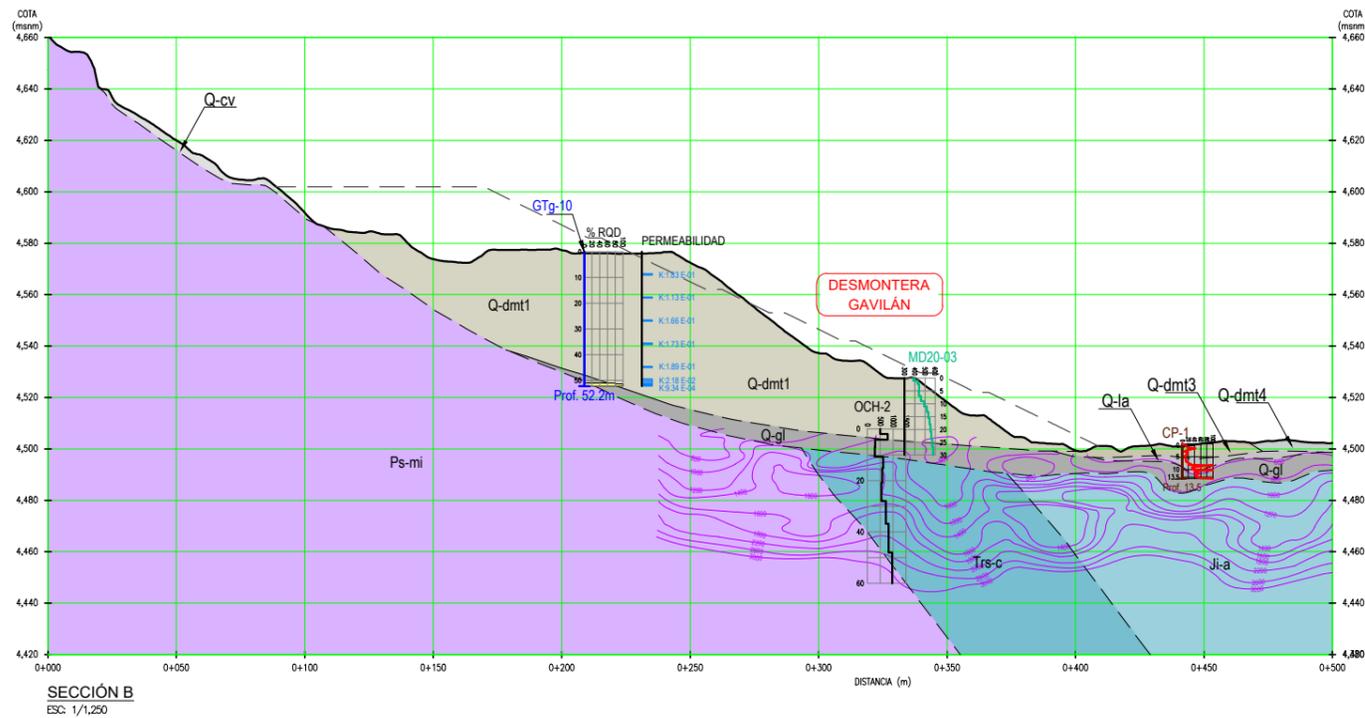
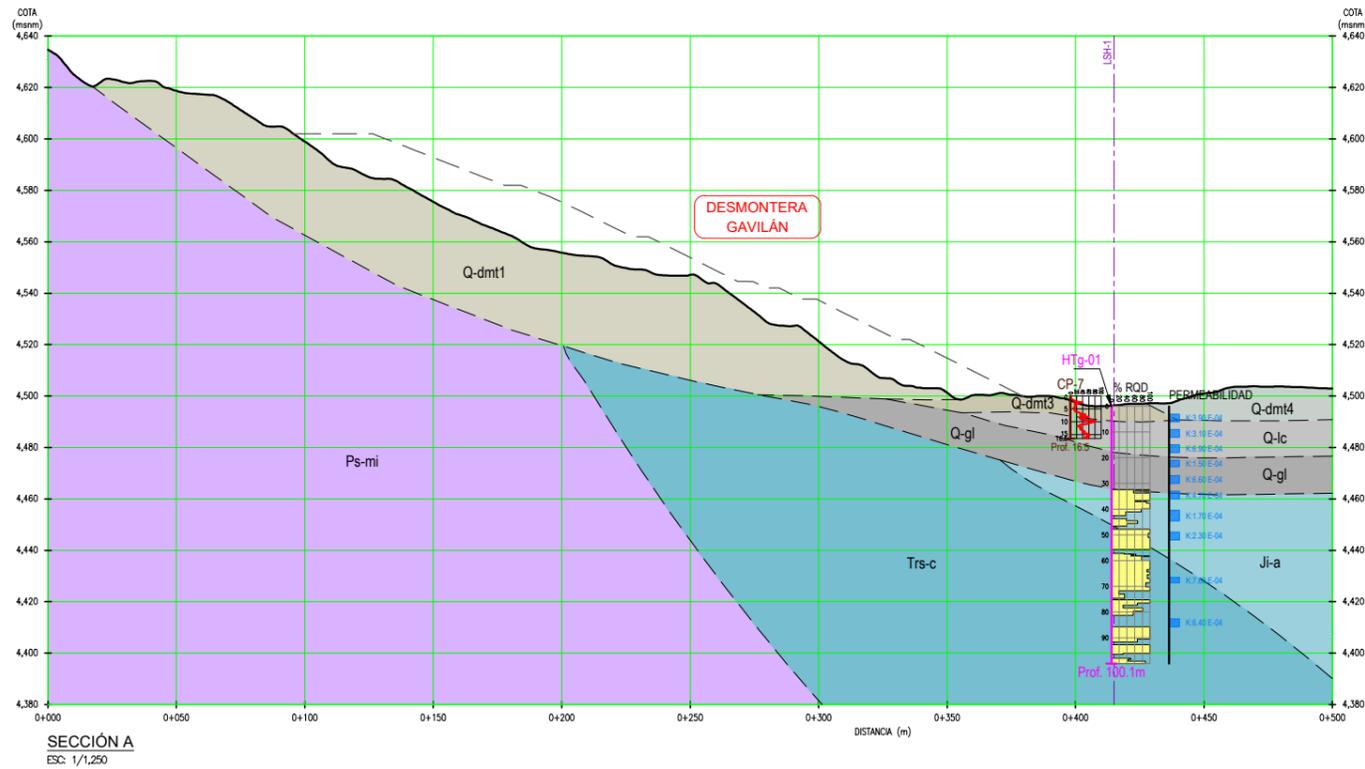
h<sub>1</sub> y h<sub>2</sub> = Recuperación en los tiempos t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>.

Δh = Sobrecarga hidráulica (m)

$$k = \frac{\pi d^2}{4c(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

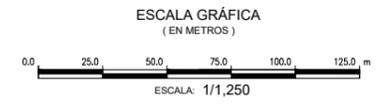
<b>OBSERVACIONES:</b>	<b>Caudal (Q):</b> 1853.9 cm <sup>3</sup> /s
La columna de perforación no llena pero si hay consumo de agua con la máxima potencia de la bomba de agua.	<b>Coeficiente de forma (c):</b> -
	<b>Permeabilidad (k):</b> 2.40E-01 cm/s

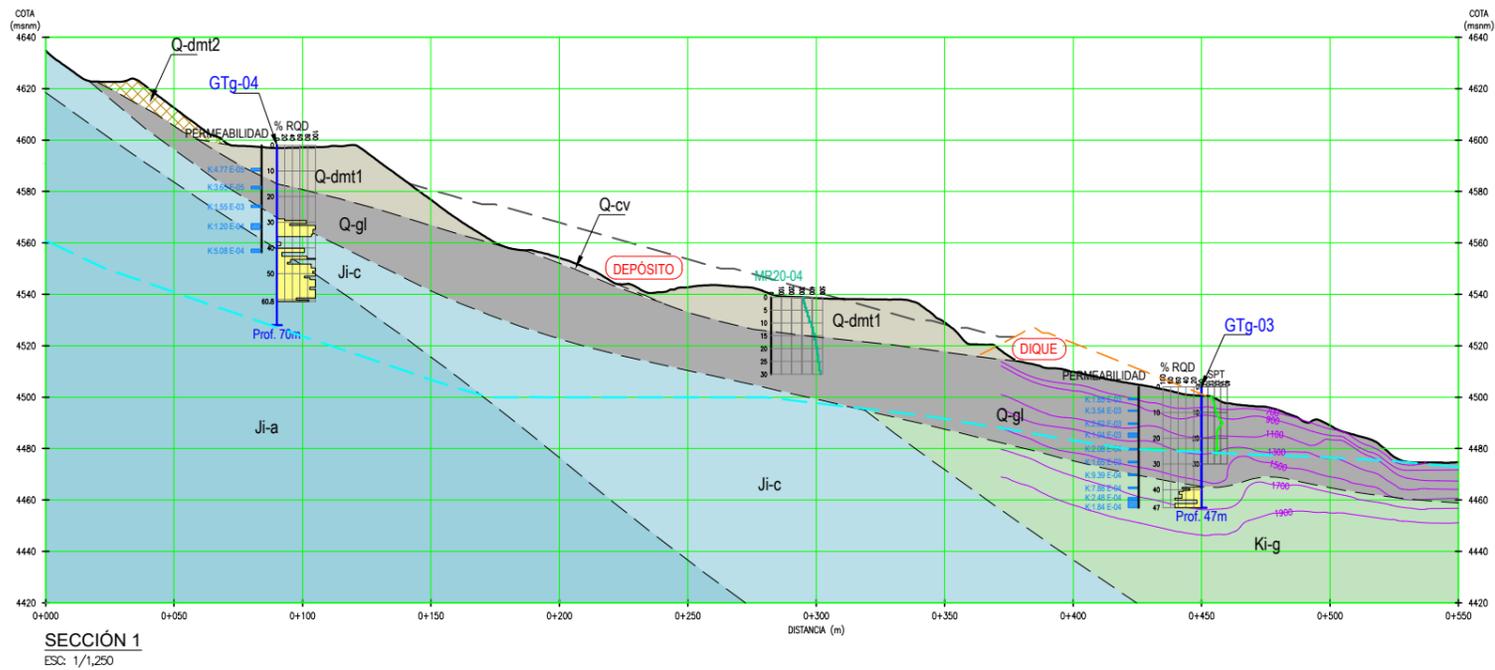
**ANEXO 8**  
**SECCIONES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS**



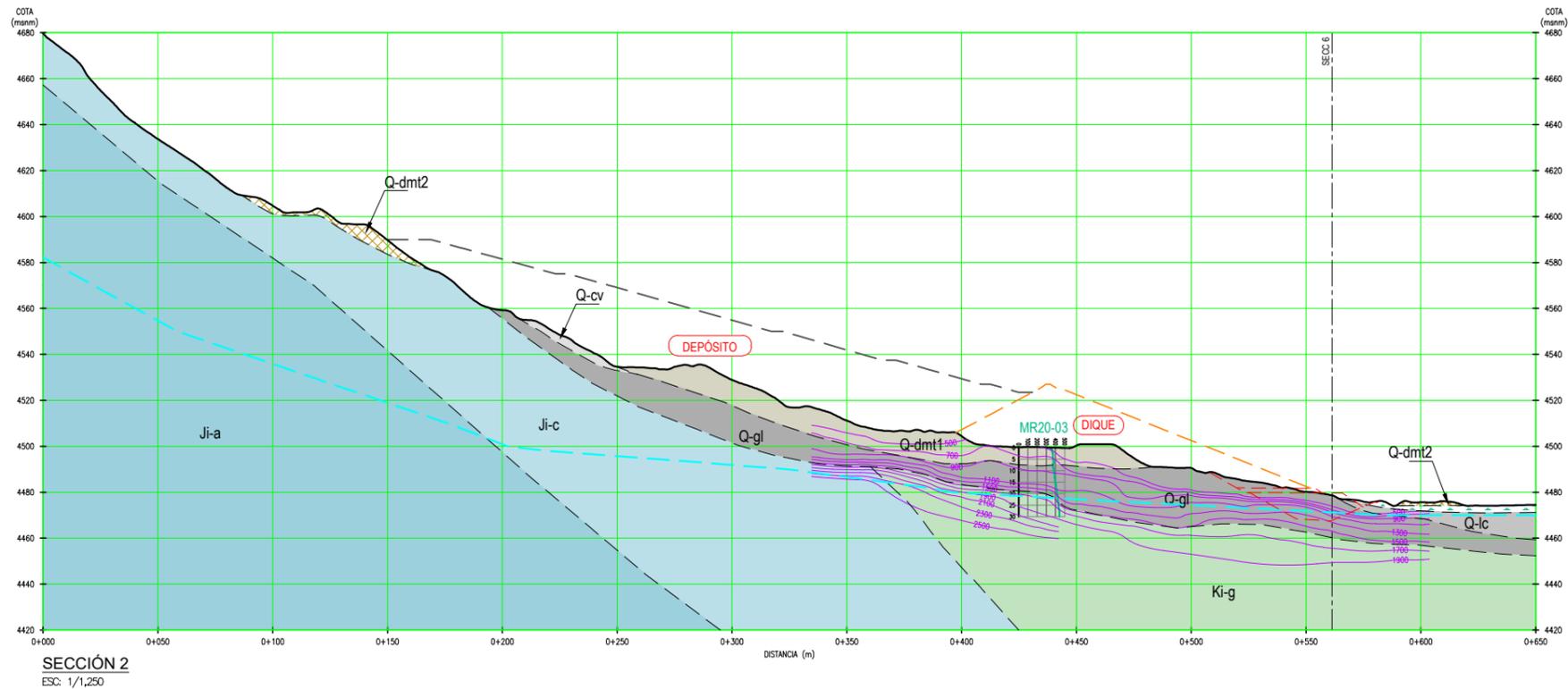
LEYENDA	
<b>DEPÓSITOS ANтропоCÉNOS</b>	
Q-dmt1	DEPÓSITO DE DESMONTES DE MINA: GRAVA ARENOSA Y GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA Y ARENA, SUELTA A MEDIANAMENTE DENSA, SECA, GRIS CLARO A OSCURO Y PARDOS. PRESENTA CANTOS Y BLOQUES DE DISTINTOS LITOLÓGICOS.
Q-dmt3	DEPÓSITO DE DESMONTES DE SUELO ORGÁNICO: ARENA LIMOSA Y LIMO ORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD, MEDIANAMENTE DENSA, MUY HÚMEDA, MARRÓN OSCURO. PRESENTA UNA CAPA SUPERIOR DE TURBA < A 1 M.
Q-dmt4	DEPÓSITO DE DESMONTES DE MINA ANTIGUO: GRAVA ARCILLOSA CON ARENA, MEDIANAMENTE DENSA A DENSA, HÚMEDA, GRIS OSCURO A MARRÓN. PRESENTA BOLONERIAS. PRESENTA UNA CAPA SUPERIOR DE TURBA < A 0.50 M.
<b>DEPÓSITOS DEL CUATERNARIO</b>	
Q-c	DEPÓSITO LACUSTRE: ARCILLA PLÁSTICA CON LIMO ARENOSO, BLANDA A FIRME, HÚMEDA, MARRÓN. PRESENTA GRAVA Y ARENA LIMOSAS. LA CAPA SUPERIOR ESTÁ CONFORMADA POR TURBA DE 1 A 6 M DE ESPESOR.
Q-gl	DEPÓSITO GLACIAR: GRAVA LIMOSA, MEDIANAMENTE DENSA, SECA, MARRÓN. PRESENTA CLASTOS CALCÁREOS ANGULOSOS A SUBANGULOSOS.
<b>TRIÁSICO SUPERIOR - JURÁSICO INFERIOR</b>	
Ji-c	FORMACIÓN CONDORSINGA: DOLOMITAS CON INTERCALACIONES DE CALIZAS, GRIS CLARO, GRANO FINO A MEDIO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
Ji-a	FORMACIÓN ARAMACHAY: DOLOMITAS Y CALIZAS SILICIFICADAS, GRIS CLARA A OSCURA, GRANO FINO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
Trs-c	FORMACIÓN CHAMBARÁ: DOLOMITAS INTERCALADO CON BRECHAS CALCÁREAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS OSCURA, GRANO MEDIO A GROSUERO, MODERADAMENTE DURO A DURO, MEDIANAMENTE METEORIZADO. PRESENTA MANTOS DE ÓXIDOS Y CUERPO IRREGULARES DE SULFURO.
<b>PALEOZOICO - PÉRMICO</b>	
Ps-mi	GRUPO MITU: AGLOMERADOS VOLCÁNICOS ANDESÍTICOS A DACÍTICOS Y TOBAS, ROJO VIOLÁCEO A GRIS, PORFÍRICO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERO A ALTAMENTE METEORIZADO. EN LA ZONA MINERALIZADA PRESENTA ALTERACIÓN ARGÍLICA Y SERICITA.
<b>SIMBOLOGÍA</b>	
—	SUPERFICIE DE TERRENO ACTUAL
- - -	CONTACTO GEOLÓGICO
- - -	PROY. DE DEPÓSITO DE RELAVES
1000	VELOCIDADES SÍSMICAS
LSH-1	LÍNEAS SÍSMICAS SVS, 2011
HTg-01	PERFORACIONES HIDROGEOLOGICAS SRK, 2020
GTg-10	PERFORACIONES DIAMANTINAS SRK, 2020
CP-1	CONO DE PECK SVS, 2011
MD20-03	MASW SRK, 2020
OCH-2	MASW SVS, 2011
ROD	ROD
K:1.20E-04	PERMEABILIDAD

- NOTAS :**
- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1 PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.
  - DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
  - USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
  - LA TOPOGRAFÍA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE EN ABRIL DEL 2,020 DATUM WGS 84-18S.





SECCIÓN 1  
ESC: 1/1,250



SECCIÓN 2  
ESC: 1/1,250

LEYENDA	
<b>DEPÓSITOS ANTROPOCÉNOS</b>	
Q-dmt1	DEPÓSITO DE DESMORTE DE MINA: GRAVA ARENOSA Y GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA Y ARENA, SUELTA A MEDIANAMENTE DENSA, SECA, GRIS CLARO A OSCURO Y PARDO. PRESENTA CANTOS Y BLOQUES DE DISTINTOS LITOLÓGICOS.
Q-dmt2	DEPÓSITO DE DESMORTE DE CORTE DE CARRETERA: GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA, SUELTA A DENSA, SECA, MARRÓN.
<b>DEPÓSITOS DEL CUATERNARIO</b>	
Q-cv	DEPÓSITO COLUVAL: GRAVA ARENOSA CON BLOQUES ANGULOSOS, DENSA A MEDIANAMENTE DENSA, SECA A LIGERAMENTE HÚMEDA, MARRÓN.
Q-ic	DEPÓSITO LACUSTRE: ARCILLA PLÁSTICA CON LIMO ARENOSO, BLANDA A FIRME, HÚMEDA, MARRÓN. PRESENTA GRAVA Y ARENA LIMOSAS. LA CAPA SUPERIOR ESTÁ CONFORMADO POR TURBA DE 1 A 6 M DE ESPESOR.
Q-gl	DEPÓSITO GLACIAR: GRAVA LIMOSA, MEDIANAMENTE DENSA, SECA, MARRÓN. PRESENTA CLASTOS CALCÁREOS ANGULOSOS A SUBANGULOSOS.
<b>MESOZOICO - CRETÁCICO INFERIOR</b>	
Ki-g	GRUPO GOYLLARISQUIZA: ARENISCAS, LIMOLITAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS CLARO A ROJAS, GRANO FINO A MEDIO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERA A MEDIANAMENTE METEORIZADA.
<b>TRIÁSICO SUPERIOR - JURÁSICO INFERIOR</b>	
Ji-c	FORMACIÓN CONDORSINGA: DOLOMITAS CON INTERCALACIONES DE CALIZAS, GRIS CLARO, GRANO FINO A MEDIO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
Ji-a	FORMACIÓN ARAMACHAY: DOLOMITAS Y CALIZAS SILICIFICADAS, GRIS CLARA A OSCURA, GRANO FINO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
Trs-c	FORMACIÓN CHAMBARÁ: DOLOMITAS INTERCALADO CON BRECHAS CALCÁREAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS OSCURA, GRANO MEDIO A GRUESO, MODERADAMENTE DURO A DURO, MEDIANAMENTE METEORIZADO. PRESENTA MANTOS DE ÓXIDOS Y CUERPO IRREGULARES DE SULFURO.
SIMBOLOGÍA	
	BOFEDAL
	SUPERFICIE DE TERRENO ACTUAL
	CONTACTO INFERIDO
	CONTACTO GEOLÓGICO
	PROY. DE DEPÓSITO DE RELAVES
	PROY. DE DIQUE GAVILAN
	PROY. DE EXCAVACIÓN
	EL NIVEL FREÁTICO
	VELOCIDADES SÍSMICAS
	PERFORACIONES GEOTÉCNICAS
	PERFORACIONES HIDROGEOLÓGICAS
	MASW
	SPT
	RQD
	PERMEABILIDAD

NOTAS :

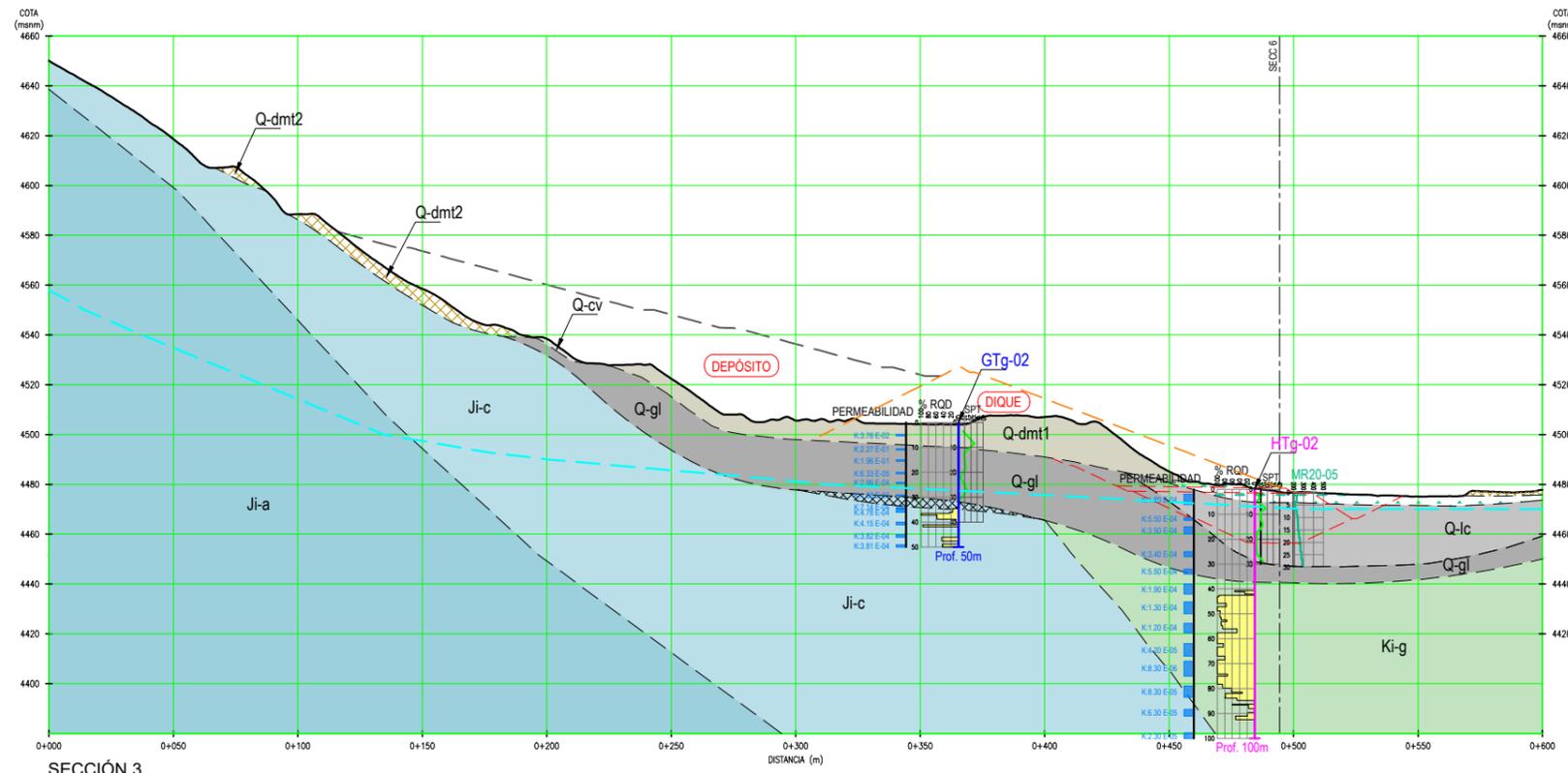
- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.
- DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
- LA TOPOGRAFÍA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE EN ABRIL DEL 2,020 DATUM WGS 84-18S.



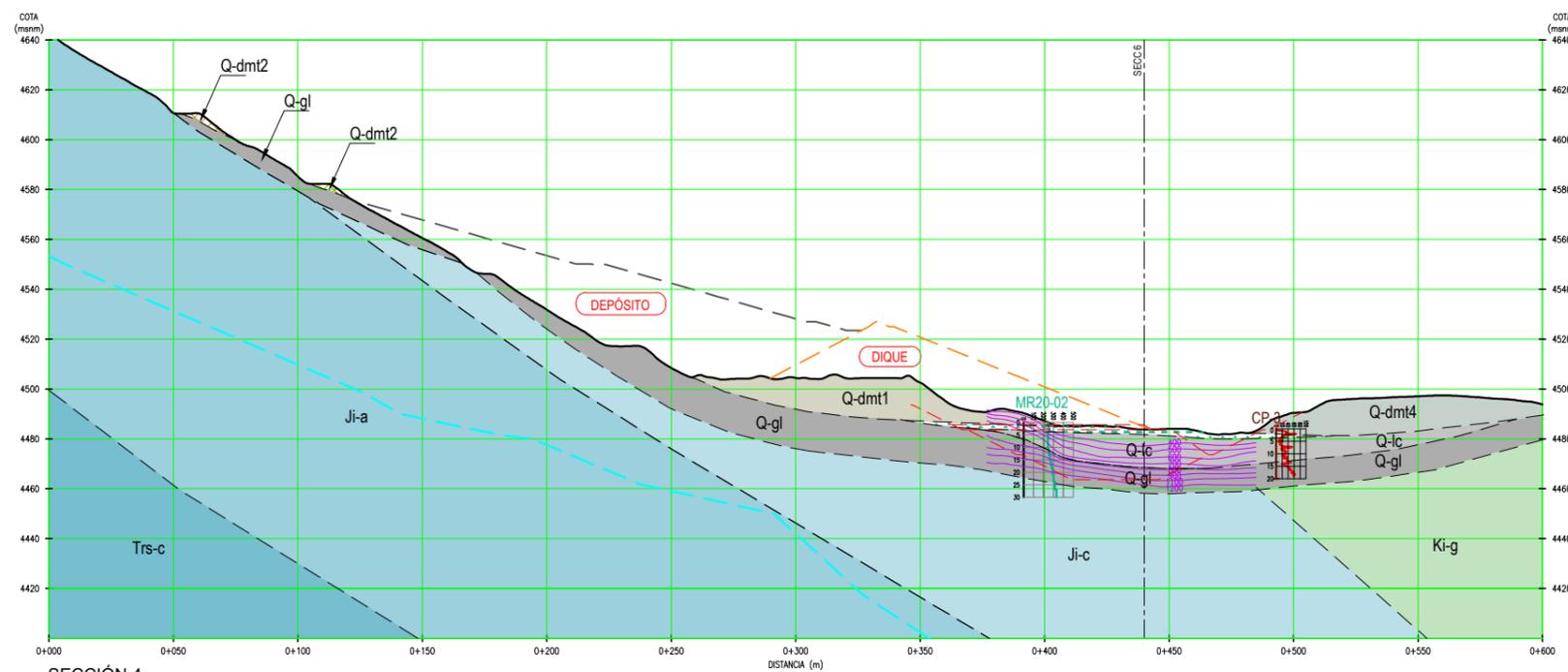
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Sección Geológica Geotécnica 1 y 2



SECCIÓN 3  
ESC. 1/1,250



SECCIÓN 4  
ESC. 1/1,250

**LEYENDA**

**DEPÓSITOS ANTROPOCÉNOS**

- Q-dmt1 DEPÓSITO DE DESMONTES DE MINA: GRAVA ARENOSA Y GRAVA MAL GRADADA CON ARCILLA Y ARENA, SUELTA A MEDIANAMENTE DENSA, SECA, GRIS CLARO A OSCURO Y PARDOS. PRESENTA CANTOS Y BLOQUES DE DISTINTAS LITOLOGÍAS.
- Q-dmt2 DEPÓSITO DE DESMONTES DE CORTE DE CARRETERA: GRAVA BIEN GRADADA CON LIMO Y ARENA, SUELTA A DENSA, SECA, MARRÓN.

**DEPÓSITOS DEL CUATERNARIO**

- Q-cv DEPÓSITO COLUVIAL: GRAVA ARENOSA CON BLOQUES ANGULOSOS, DENSA A MEDIANAMENTE DENSA, SECA A LIGERAMENTE HÚMEDA, MARRÓN.
- Q-lc DEPÓSITO LACUSTRE: ARCILLA PLÁSTICA CON LIMO ARENOSO, BLANDA A FIRME, HÚMEDA, MARRÓN. PRESENTA GRAVA Y ARENA LIMOSAS. LA CAPA SUPERIOR ESTÁ CONFORMADA POR TURBA DE 1 A 6 M DE ESPESOR.
- Q-gi DEPÓSITO GLACIAR: GRAVA LIMOSA, MEDIANAMENTE DENSA, SECA, MARRÓN. PRESENTA CLASTOS CALCÁREOS ANGULOSOS A SUBANGULOSOS.

**MESOZOICO - CRETÁCICO INFERIOR**

- Ki-g GRUPO GOYLLARISQUIZA: ARENISCAS, LIMOLITAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS CLARO A ROJAS, GRANO FINO A MEDIO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERA A MEDIANAMENTE METEORIZADA.

**TRIÁSICO SUPERIOR - JURÁSICO INFERIOR**

- Ji-c FORMACIÓN CONDORSINGA: DOLOMITAS CON INTERCALACIONES DE CALIZAS, GRIS CLARO, GRANO FINO A MEDIO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
- Ji-a FORMACIÓN ARAMACHAY: DOLOMITAS Y CALIZAS SILICIFICADAS, GRIS CLARA A OSCURA, GRANO FINO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
- Trs-c FORMACIÓN CHAMBARÁ: DOLOMITAS INTERCALADO CON BRECHAS CALCÁREAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS OSCURA, GRANO MEDIO A GRUESO, MODERADAMENTE DURO A DURO, MEDIANAMENTE METEORIZADO. PRESENTA MANTOS DE ÓXIDOS Y CUERPO IRREGULARES DE SULFURO.

**SIMBOLOGÍA**

- BOFEDAL
- SUPERFICIE DE TERRENO ACTUAL
- CONTACTO INFERIDO
- CONTACTO GEOLÓGICO
- PROY. DE DEPÓSITO DE RELAVES
- PROY. DE DIQUE GAVILAN
- PROY. DE EXCAVACIÓN
- EL NIVEL FREÁTICO
- VELOCIDADES SÍSMICAS
- PERFORACIONES GEOTÉCNICAS
- PERFORACIONES HIDROGEOLÓGICAS
- CONO DE PECK
- MASW
- SPT SRK, 2020
- RQD
- PERMEABILIDAD

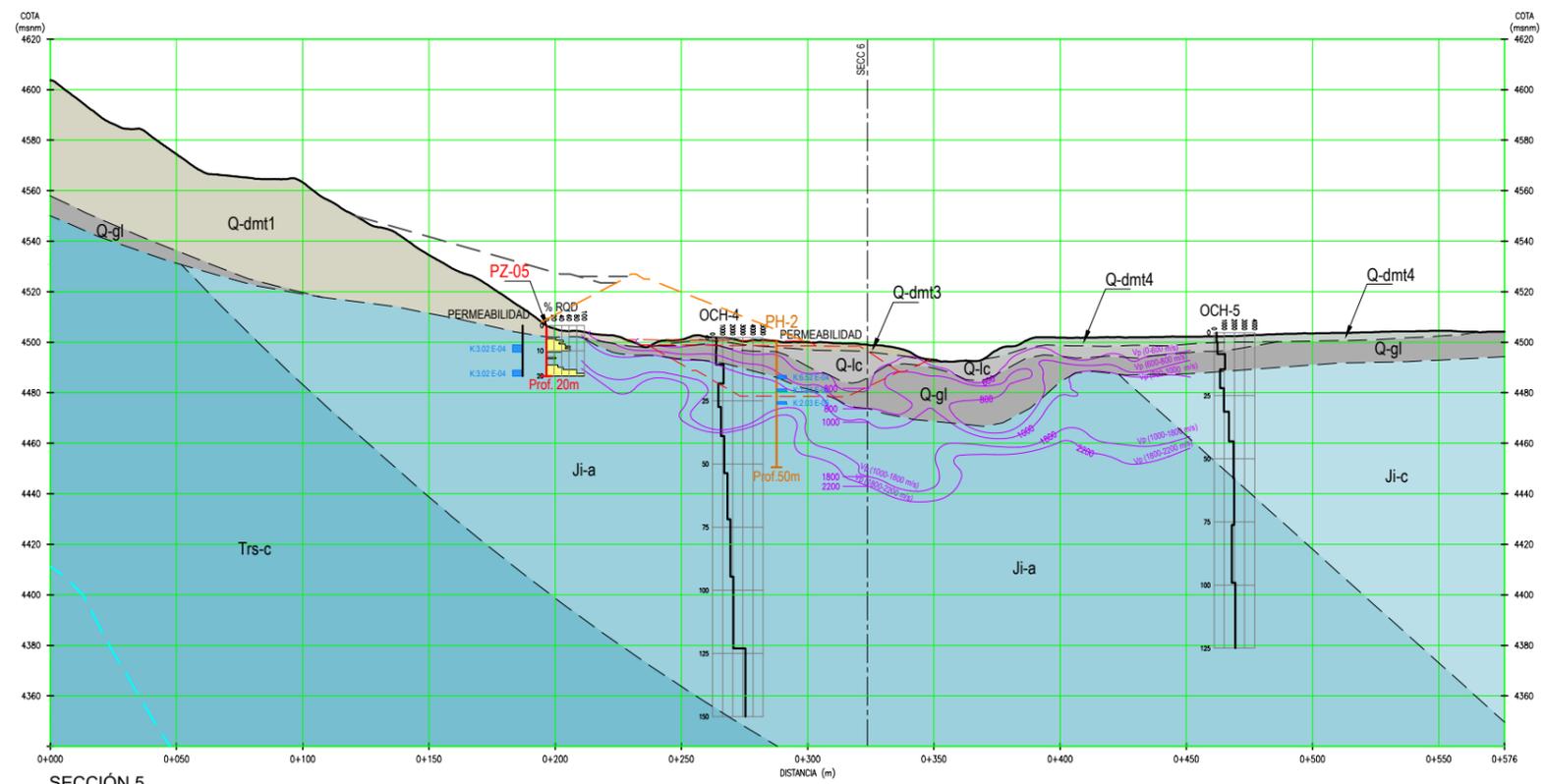
**NOTAS :**

- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.
- DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
- LA TOPOGRAFÍA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE EN ABRIL DEL 2,020 DATUM WGS 84-18S.



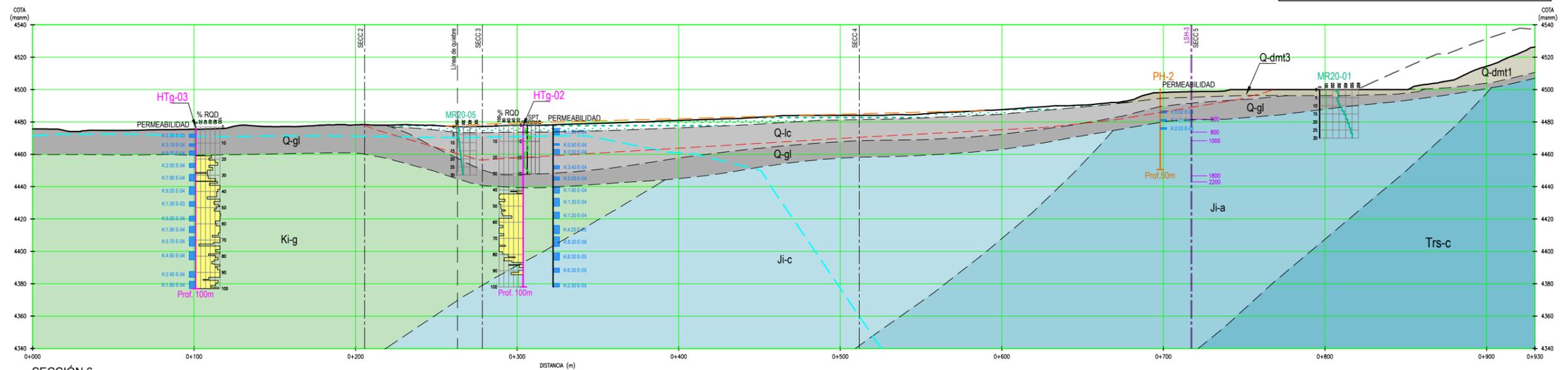
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA



SECCIÓN 5  
ESC: 1/1,250

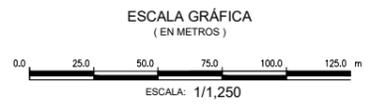
LEYENDA	
<b>DEPÓSITOS ANтропоCÉNICOS</b>	
Q-dmt1	DEPÓSITO DE DESMORTE DE MINA: GRAVA ARENOSA Y GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA Y ARENA, SUELTAS A MEDIANAMENTE DENSAS, SECAS, GRIS CLARO A OSCURO Y PARDAS. PRESENTA CANTOS Y BLOQUES DE DISTINTAS LITOLOGÍAS.
Q-dmt3	DEPÓSITO DE DESMORTE DE SUELO ORGÁNICO: ARENA LIMOSA Y LIMO ORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD, MEDIANAMENTE DENSAS, MUY HÚMEDAS, MARRÓN OSCURO. PRESENTA UNA CAPA SUPERIOR DE TURBA < A 1 M.
Q-dmt4	DEPÓSITO DE DESMORTE DE MINA ANTIGUO: GRAVA ARCILLOSA CON ARENA, MEDIANAMENTE DENSAS A DENSAS, HÚMEDAS, GRIS OSCURO A MARRÓN. PRESENTA BOLONERÍAS. PRESENTA UNA CAPA SUPERIOR DE TURBA < A 0,50 M.
<b>DEPÓSITOS DEL CUATERNARIO</b>	
Q-lc	DEPÓSITO LACUSTRE: ARCILLA PLÁSTICA CON LIMO ARENOSO, BLANDA A FIRME, HÚMEDA, MARRÓN. PRESENTA GRAVA Y ARENA LIMOSAS. LA CAPA SUPERIOR ESTÁ CONFORMADA POR TURBA DE 1 A 6 M DE ESPESOR.
Q-gi	DEPÓSITO GLACIAR: GRAVA LIMOSA, MEDIANAMENTE DENSAS, SECAS, MARRÓN. PRESENTA CLASTOS CALCÁREOS ANGULOSOS A SUBANGULOSOS.
<b>MESOZOICO - CRETÁCICO INFERIOR</b>	
Ki-g	GRUPO GOYLARISQUIZA: ARENISCAS, LIMOLITAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS CLARO A ROJAS, GRANO FINO A MEDIO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
<b>TRIÁSICO SUPERIOR - JURÁSICO INFERIOR</b>	
Ji-c	FORMACIÓN CONDORSINGA: DOLOMITAS CON INTERCALACIONES DE CALIZAS, GRIS CLARO, GRANO FINO A MEDIO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
Ji-a	FORMACIÓN ARAMACHAY: DOLOMITAS Y CALIZAS SILICIFICADAS, GRIS CLARA A OSCURA, GRANO FINO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
Trs-c	FORMACIÓN CHAMBARÁ: DOLOMITAS INTERCALADO CON BRECHAS CALCÁREAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS OSCURA, GRANO MEDIO A GRUESO, MODERADAMENTE DURO A DURO, MEDIANAMENTE METEORIZADO. PRESENTA MANTOS DE ÓXIDOS Y CUERPO IRREGULARES DE SULFURO.
SIMBOLOGÍA	
	BOFEDAL
	SUPERFICIE DE TERRENO ACTUAL
	CONTACTO INFERIDO
	CONTACTO GEOLÓGICO
	PROY. DE DEPÓSITO DE RELAVES
	PROY. DE DIQUE GAVILAN
	PROY. DE EXCAVACIÓN
	EL NIVEL FREÁTICO
	VELOCIDADES SÍSMICAS
	PERFORACIONES HIDROGEOLOGICAS
	PERFORACIONES DIAMANTINAS
	MASW
	MASW
	ROD
	PERMEABILIDAD



SECCIÓN 6  
ESC: 1/1,250

NOTAS:

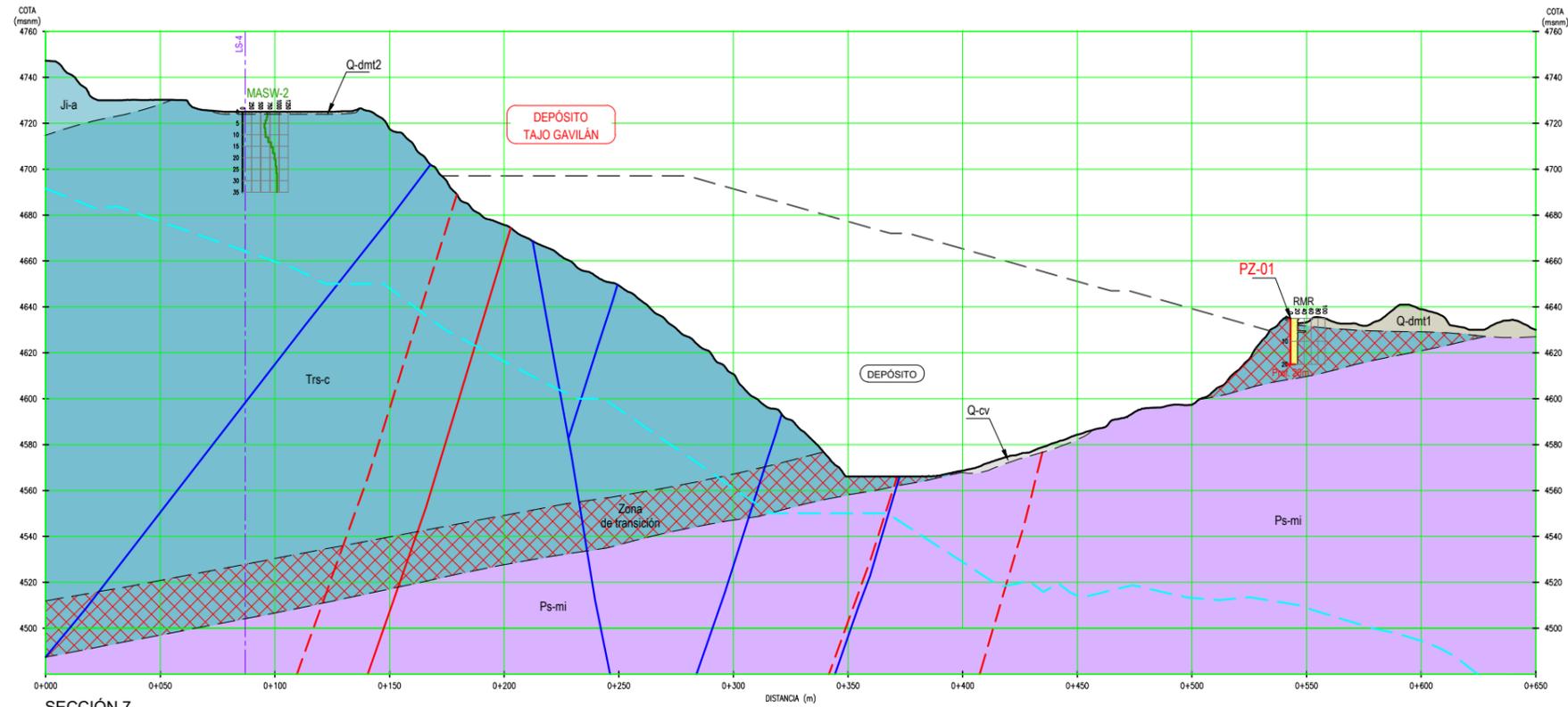
- LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.
- DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
- USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
- LA TOPOGRAFÍA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE EN ABRIL DEL 2020 DATUM WGS 84-18S.



Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Sección Geológica Geotécnica 5 y 6

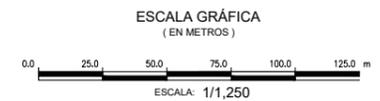


SECCIÓN 7  
ESC: 1/1,250

LEYENDA	
<b>DEPÓSITOS ANTROPOCÉNOS</b>	
Q-dmt1	DEPÓSITO DE DESMONTE DE MINA: GRAVA ARENOSA Y GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA Y ARENA, SUELTA A MEDIANAMENTE DENSA, SECA, GRIS CLARO A OSCURO Y PARDO. PRESENTA CANTOS Y BLOQUES DE DISTINTOS LITOLÓGICOS.
Q-dmt2	DEPÓSITO DE DESMONTE DE CORTE DE CARRETERA: GRAVA BIEN GRADUADA CON LIMO Y ARENA, SUELTA A DENSA, SECA, MARRÓN.
<b>DEPÓSITOS DEL CUATERNARIO</b>	
Q-cv	DEPÓSITO COLUVAL: GRAVA ARENOSA CON BLOQUES ANGULOSOS, DENSA A MEDIANAMENTE DENSA, SECA A LIGERAMENTE HÚMEDA, MARRÓN.
<b>TRIÁSICO SUPERIOR - JURÁSICO INFERIOR</b>	
Ji-a	FORMACIÓN ARMACHAY: DOLOMITAS Y CALIZAS SILICIFICADAS, GRIS CLARA A OSCURA, GRANO FINO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERAMENTE METEORIZADO.
Trs-c	FORMACIÓN CHAMBARÁ: DOLOMITAS INTERCALADO CON BRECHAS CALCÁREAS Y LUTITAS BITUMINOSAS, GRIS OSCURA, GRANO MEDIO A GRUESO, MODERADAMENTE DURO A DURO, MEDIANAMENTE METEORIZADO. PRESENTA MANTOS DE ÓXIDOS Y CUERPO IRREGULARES DE SULFURO.
<b>PALEOZOICO - PÉRMICO</b>	
Ps-mi	GRUPO MITU: AGLOMERADOS VOLCÁNICOS ANDESÍTICOS A DACÍTICOS Y TOBAS, ROJO VOLCÁCEO A GRIS, PORFIRÍTICO, MODERADAMENTE DURO A DURO, LIGERO A ALTAMENTE METEORIZADO, EN LA ZONA MINERALIZADA PRESENTA ALTERACIÓN ARGÍLICA Y SERICITA.
SIMBOLOGÍA	
	BOFEDAL
	SUPERFICIE DE TERRENO ACTUAL
	CONTACTO INFERIDO
	CONTACTO GEOLÓGICO
	PROY. DE DEPÓSITO DE RELAVES
	PROY. DE DIQUE GAVILAN
	EL NIVEL FREÁTICO
	VETA INFERIDA
	ZONA MINERALIZADA
	FALLA
	LÍNEAS SÍSMICAS
	MASW CESEL
	PERFORACIONES DIAMANTINAS
	ROD

NOTAS :

1. LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-1, PARA A-3 CONSIDERAR EL DOBLE.
2. DIMENSIONES Y NIVELES EN METROS, SALVO INDICADO.
3. USAR SOLO DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
4. LA TOPOGRAFÍA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE EN ABRIL DEL 2020 DATUM WGS 84-18S.



Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**Sección Geológica Geotécnica 7**

## **ANEXO 9**

# **REGISTRO DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

# Análisis Granulométrico por Tamizado

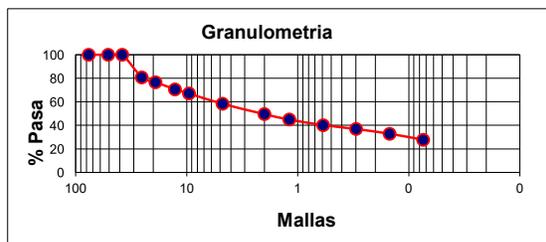
<b>Proyecto:</b>	Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra				
<b>Ubicación:</b>	Yauli-Junin	<b>No:</b>	20-R-007-03		
<b>Sondaje</b>	GTg-02 - M-1	<b>Zona.:</b>	Desmontera Gavilan	<b>Ciente:</b>	Compañía Minera Volcan
<b>Profundidad:</b>	12.00-13.60	<b>Muestra N°:</b>	M-1	<b>Fecha:</b>	Nov-20
<b>Operador:</b>	E.V.H	<b>Cálculo:</b>	M.C.C	<b>Rev:</b>	AM
<b>Muestra de:</b>	Suelo natural				

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)	OBSERVACIONES	
3"	76.200		0.00	0.00	100.00	ANALISIS DE LA MUESTRA	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	420.00	19.15	19.15	80.85	HUMEDAD (%):	<b>6.06</b>
¾"	19.100	91.00	4.15	23.30	76.70	GRUESOS(%):	<b>72.24</b>
½"	12.700	133.00	6.06	29.37	70.63	GRAVA(%):	<b>41.72</b>
⅜"	9.520	78.00	3.56	32.92	67.08	ARENA(%):	<b>30.52</b>
#4	4.760	193.00	8.80	41.72	58.28	GS grava	<b>2.92</b>
Suma		915.00				BANDEJA N°	

TAMIZ.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)		OBSERVACIONES
					>#20	Total	
#10	2.000	37.41	14.96	14.96	85.04	49.56	ANALISIS DE LA MUESTRA
#16	1.190	20.04	8.02	22.98	77.02	44.88	
#30	0.590	19.96	7.98	30.96	69.04	40.23	PESO INICIAL
#50	0.297	14.53	5.81	36.78	63.22	36.84	MENOR DE LA
#100	0.149	17.13	6.85	43.63	56.37	32.85	MALLA # 4(gr):
#200	0.074	21.86	8.74	52.37	47.63	27.76	< # 200 (%)
Bandeja		2.36					
Suma		133.29					BANDEJA N°

Límite líquido LL (%)	21.5
Límite plástico LP (%)	15.37
Índice plasticidad IP (%)	6.13
D60 (mm)	5.45
D30 (mm)	0.10
D10 (diámetro efectivo,mm)	0.00
Coefficiente de uniformidad (Cu)	-
Grado de curvatura (Cc)	-

**Clasificación SUCS**  
**GC-GM**



# Análisis Granulométrico por Tamizado

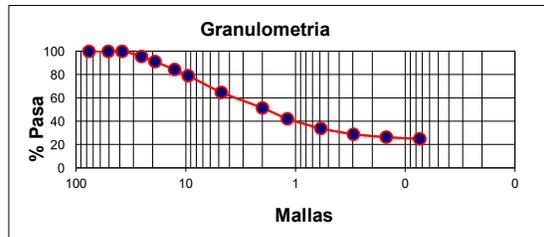
<b>Proyecto:</b>	Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra		
<b>Ubicación:</b>	Yauli-Junin	<b>No:</b>	20-R-007-03
<b>Sondaje</b>	GTg-02 - M-2	<b>Zona.:</b>	Desmontera Gavilan
<b>Profundidad:</b>	19.40-20.60	<b>Muestra N°:</b>	M-2
<b>Operador:</b>	E.V.H	<b>Cálculo:</b>	M.C.C
<b>Muestra de:</b>	Suelo natural	<b>Fecha:</b>	Nov-20
		<b>Rev:</b>	AM

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)	OBSERVACIONES	
3"	76.200		0.00	0.00	100.00	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	66.00	4.33	4.33	95.67	PESO INICIAL(gr):	<b>1525.00</b>
¾"	19.100	70.00	4.59	8.92	91.08	HUMEDAD (%):	<b>6.91</b>
½"	12.700	103.00	6.75	15.67	84.33	GRUESOS(%):	<b>75.13</b>
⅜"	9.520	80.00	5.25	20.92	79.08	GRAVA(%):	<b>35.15</b>
#4	4.760	217.00	14.23	35.15	64.85	ARENA(%):	<b>39.99</b>
Suma		536.00				GS grava	<b>2.69</b>
						BANDEJA N°	

TAMIZ.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)		OBSERVACIONES
					>#20	Total	
#10	2.000	52.23	20.89	20.89	79.11	51.30	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>
#16	1.190	34.74	13.90	34.79	65.21	42.29	
#30	0.590	32.28	12.91	47.70	52.30	33.92	
#50	0.297	19.26	7.70	55.40	44.60	28.92	PESO INICIAL
#100	0.149	10.03	4.01	59.42	40.58	26.32	MENOR DE LA
#200	0.074	5.60	2.24	61.66	38.34	24.87	MALLA # 4(gr):
Bandeja		0.89					< # 200 (%)
Suma		155.03					<b>24.87</b>
							BANDEJA N°

Límite líquido LL (%)	<b>18.23</b>
Límite plástico LP (%)	<b>13.03</b>
Índice plasticidad IP (%)	<b>5.2</b>
D60 (mm)	<b>3.49</b>
D30 (mm)	<b>0.34</b>
D10 (diámetro efectivo,mm)	<b>0.00</b>
Coefficiente de uniformidad (Cu)	-
Grado de curvatura (Cc)	-

**Clasificación SUCS**  
**SC-SM**



# Análisis Granulométrico por Tamizado

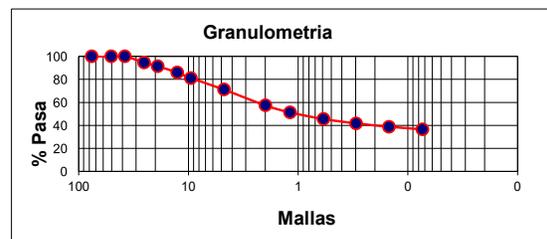
<b>Proyecto:</b>	Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra				
<b>Ubicación:</b>	Yauli-Junin	<b>No:</b>	20-R-007-03		
<b>Sondaje</b>	GTg-02- M-3	<b>Zona.:</b>	Desmontera Gavilan	<b>Ciente:</b>	Compañía Minera Volcan
<b>Profundidad:</b>	26.95-28.60	<b>Muestra N°:</b>	M-3	<b>Fecha:</b>	Nov-20
<b>Operador:</b>	E.V.H	<b>Cálculo:</b>	M.C.C	<b>Rev:</b>	AM
<b>Muestra de:</b>	Suelo natural				

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)	OBSERVACIONES	
3"	76.200		0.00	0.00	100.00	ANALISIS DE LA MUESTRA	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	156.00	5.36	5.36	94.64	HUMEDAD (%):	3.03
¾"	19.100	96.00	3.30	8.65	91.35	GRUESOS(%):	63.41
½"	12.700	155.00	5.32	13.98	86.02	GRAVA(%):	28.88
⅜"	9.520	142.00	4.88	18.85	81.15	ARENA(%):	34.53
#4	4.760	292.00	10.03	28.88	71.12	GS grava	2.68
Suma		841.00				BANDEJA N°	

TAMIZ.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)		OBSERVACIONES
					>#20	Total	
#10	2.000	48.18	19.27	19.27	80.73	57.41	ANALISIS DE LA MUESTRA
#16	1.190	21.50	8.60	27.87	72.13	51.30	
#30	0.590	20.33	8.13	36.00	64.00	45.51	PESO INICIAL
#50	0.297	13.26	5.30	41.31	58.69	41.74	MENOR DE LA
#100	0.149	10.30	4.12	45.43	54.57	38.81	MALLA # 4(gr):
#200	0.074	7.80	3.12	48.55	51.45	36.59	< # 200 (%)
Bandeja		1.42					
Suma		122.79					BANDEJA N°

Límite líquido LL (%)	19.08
Límite plástico LP (%)	14.02
Índice plasticidad IP (%)	5.06
D60 (mm)	2.36
D30 (mm)	0.00
D10 (diámetro efectivo,mm)	0.00
Coefficiente de uniformidad (Cu)	-
Grado de curvatura (Cc)	-

**Clasificación SUCS**  
**SC-SM**









# Análisis Granulométrico por Tamizado

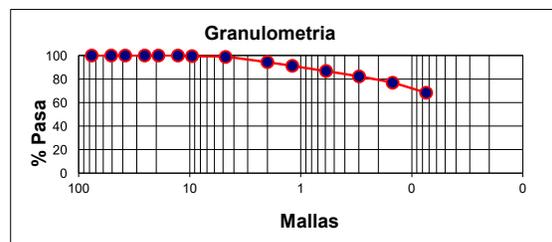
<b>Proyecto:</b>	Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra				
<b>Ubicación:</b>	Yauli-Junin	<b>No:</b>	20-R-007-03		
<b>Sondaje:</b>	GTg-03 - M-1	<b>Zona.:</b>	Desmontera Gavilan	<b>Cliete:</b>	Compañía Minera Volcan
<b>Profundidad:</b>	1.80-3.00	<b>Muestra N°:</b>	M-1	<b>Fecha:</b>	Nov-20
<b>Operador:</b>	E.V.H	<b>Cálculo:</b>	M.C.C	<b>Rev:</b>	AM
<b>Muestra de:</b>	Suelo natural				

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)	OBSERVACIONES	
3"	76.200		0.00	0.00	100.00	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	HUMEDAD (%):	<b>2.45</b>
¾"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00	GRUESOS(%):	<b>31.70</b>
½"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	GRAVA(%):	<b>1.22</b>
⅜"	9.520	8.00	0.65	0.65	99.35	ARENA(%):	<b>30.48</b>
#4	4.760	7.00	0.57	1.22	98.78	GS grava	<b>2.56</b>
Suma		15.00				BANDEJA N°	

TAMIZ.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)		OBSERVACIONES	
					>#20	Total		
#10	2.000	11.43	4.57	4.57	95.43	94.27	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>	
#16	1.190	7.98	3.19	7.76	92.24	91.11		
#30	0.590	11.28	4.51	12.28	87.72	86.66	PESO INICIAL MENOR DE LA	
#50	0.297	11.28	4.51	16.79	83.21	82.20		<b>250.00</b>
#100	0.149	13.75	5.50	22.29	77.71	76.77	MALLA # 4(gr):	
#200	0.074	21.43	8.57	30.86	69.14	68.30	< # 200 (%)	<b>68.30</b>
Bandeja		1.47						
Suma		78.62					BANDEJA N°	

Límite líquido LL (%)	<b>30.16</b>
Límite plástico LP (%)	<b>17.64</b>
Índice plasticidad IP (%)	<b>12.52</b>
D60 (mm)	<b>0.00</b>
D30 (mm)	<b>0.00</b>
D10 (diámetro efectivo,mm)	<b>0.00</b>
Coefficiente de uniformidad (Cu)	-
Grado de curvatura (Cc)	-

**Clasificación SUCS**  
**CL**



# Análisis Granulométrico por Tamizado

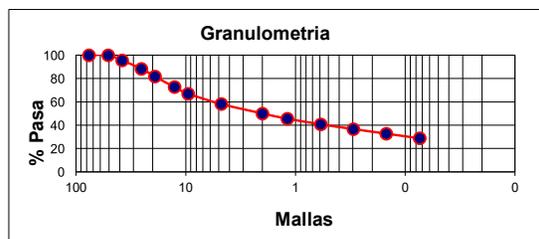
<b>Proyecto:</b>	Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra				
<b>Ubicación:</b>	Yauli-Junin	<b>No:</b>	20-R-007-03		
<b>Sondaje:</b>	GTg-03 - M-2	<b>Zona.:</b>	Desmontera Gavilan	<b>Cliete:</b>	Compañía Minera Volcan
<b>Profundidad:</b>	16.00-17-95	<b>Muestra N°:</b>	M-1	<b>Fecha:</b>	Nov-20
<b>Operador:</b>	E.V.H	<b>Cálculo:</b>	M.C.C	<b>Rev:</b>	AM
<b>Muestra de:</b>	Suelo natural				

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)	OBSERVACIONES	
3"	76.200		0.00	0.00	100.00	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1½"	38.100	127.00	4.53	4.53	95.47	PESO INICIAL(gr):	<b>2805.00</b>
1"	25.400	200.00	7.13	11.66	88.34	HUMEDAD (%):	<b>9.51</b>
¾"	19.100	186.00	6.63	18.29	81.71	GRUESOS(%):	<b>71.20</b>
½"	12.700	254.00	9.06	27.34	72.66	GRAVA(%):	<b>41.85</b>
⅜"	9.520	159.00	5.67	33.01	66.99	ARENA(%):	<b>29.35</b>
#4	4.760	248.00	8.84	41.85	58.15	GS grava	<b>2.67</b>
Suma		1174.00				BANDEJA N°	

TAMIZ.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)		OBSERVACIONES
					>#20	Total	
#10	2.000	34.85	13.94	13.94	86.06	50.04	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>
#16	1.190	19.13	7.65	21.59	78.41	45.59	
#30	0.590	20.69	8.28	29.87	70.13	40.78	PESO INICIAL
#50	0.297	17.59	7.04	36.90	63.10	36.69	MENOR DE LA
#100	0.149	16.95	6.78	43.68	56.32	32.75	MALLA # 4(gr):
#200	0.074	16.98	6.79	50.48	49.52	28.80	< # 200 (%)
Bandeja		2.61					
Suma		128.80					BANDEJA N°

Límite líquido LL (%)	<b>18.5</b>
Límite plástico LP (%)	<b>13.5</b>
Índice plasticidad IP (%)	<b>5</b>
D60 (mm)	<b>5.50</b>
D30 (mm)	<b>0.09</b>
D10 (diámetro efectivo,mm)	<b>0.00</b>
Coefficiente de uniformidad (Cu)	-
Grado de curvatura (Cc)	-

**Clasificación SUCS**  
**GC-GM**





# Análisis Granulométrico por Tamizado

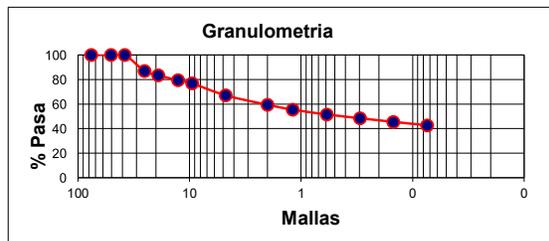
<b>Proyecto:</b>	Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra				
<b>Ubicación:</b>	Yauli-Junin	<b>No:</b>	20-R-007-03		
<b>Sondaje:</b>	GTg-03 - M-2	<b>Zona.:</b>	Desmontera Gavilan	<b>Cliente:</b>	Compañía Minera Volcan
<b>Profundidad:</b>	33.70-34.50	<b>Muestra N°:</b>	M-1	<b>Fecha:</b>	Nov-20
<b>Operador:</b>	E.V.H	<b>Cálculo:</b>	M.C.C	<b>Rev:</b>	AM
<b>Muestra de:</b>	Suelo natural				

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)	OBSERVACIONES	
3"	76.200		0.00	0.00	100.00	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	196.00	13.07	13.07	86.93	HUMEDAD (%):	<b>11.06</b>
¾"	19.100	53.00	3.53	16.60	83.40	GRUESOS(%):	<b>57.31</b>
½"	12.700	60.00	4.00	20.60	79.40	GRAVA(%):	<b>32.87</b>
⅜"	9.520	38.00	2.53	23.13	76.87	ARENA(%):	<b>24.44</b>
#4	4.760	146.00	9.73	32.87	67.13	GS grava	<b>2.73</b>
Suma		493.00				BANDEJA N°	

TAMIZ.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)		OBSERVACIONES	
					>#20	Total		
#10	2.000	28.84	11.54	11.54	88.46	59.39	<b>ANALISIS DE LA MUESTRA</b>	
#16	1.190	14.66	5.86	17.40	82.60	55.45		
#30	0.590	14.54	5.82	23.22	76.78	51.55	PESO INICIAL	<b>250.00</b>
#50	0.297	11.47	4.59	27.80	72.20	48.47	MENOR DE LA	
#100	0.149	10.99	4.40	32.20	67.80	45.52	MALLA # 4(gr):	
#200	0.074	10.51	4.20	36.40	63.60	42.69	< # 200 (%)	<b>42.69</b>
Bandeja		1.16						
Suma		92.17					BANDEJA N°	

Límite líquido LL (%)	22.57
Límite plástico LP (%)	14.04
Índice plasticidad IP (%)	8.53
D60 (mm)	2.14
D30 (mm)	0.00
D10 (diámetro efectivo,mm)	0.00
Coefficiente de uniformidad (Cu)	-
Grado de curvatura (Cc)	-

**Clasificación SUCS**  
**GC**





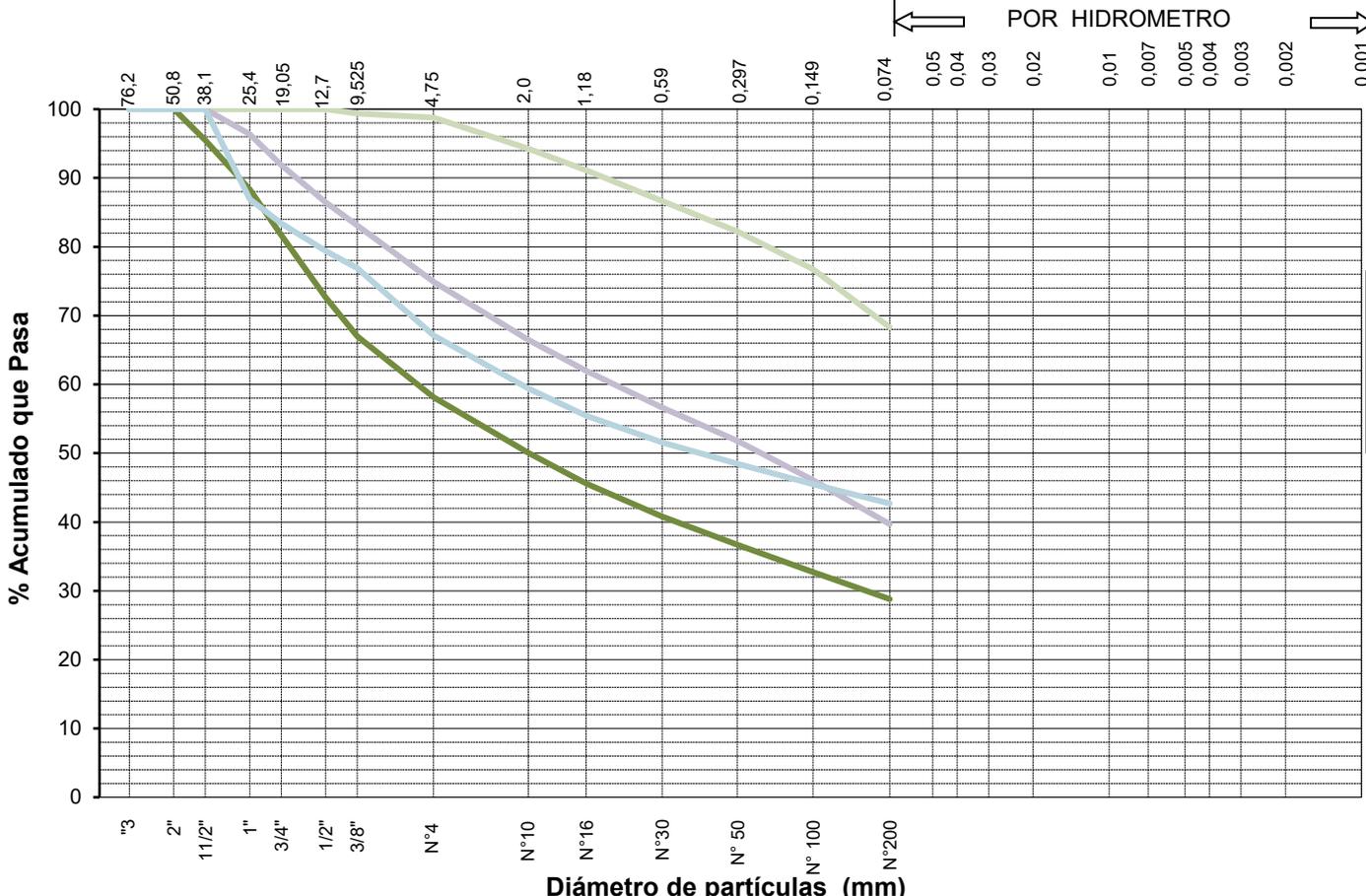
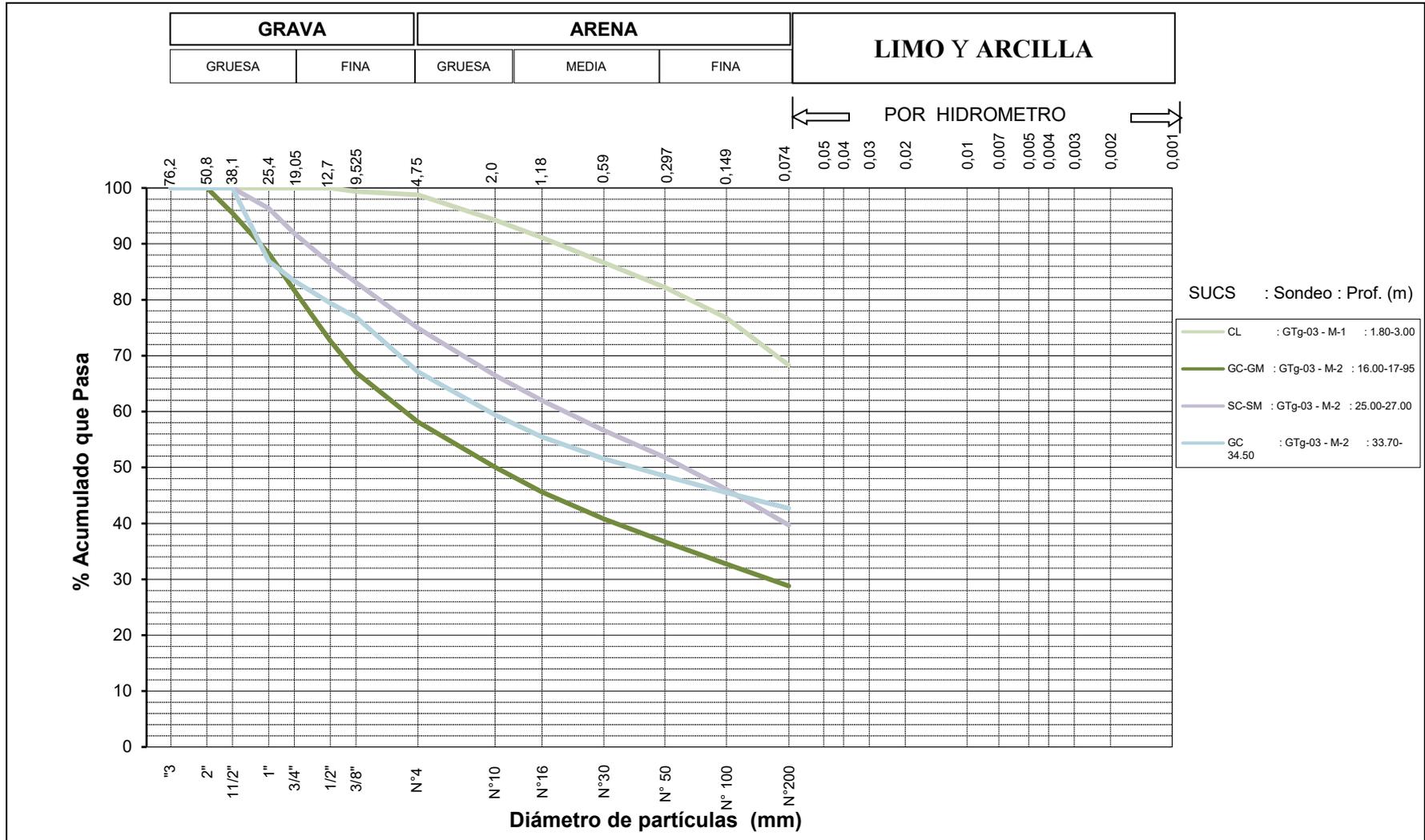
## Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D422-63)

**PROYECTO :** Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra

**N° PROYECTO :** 20-R-007-03

**CLIENTE :** Compañía Minera-Volcan

**UBICACIÓN :** Yauli-Junin



# Análisis Granulométrico por Tamizado

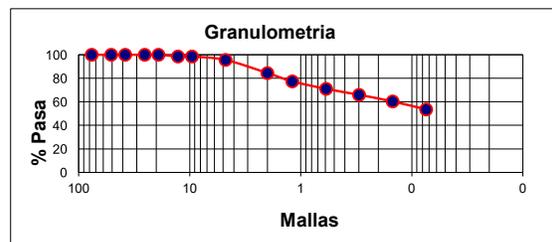
<b>Proyecto:</b>	Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra		
<b>Ubicación:</b>	Yauli-Junin	<b>No:</b>	20-R-007-03
<b>Sondaje</b>	HTg-01 - M-1	<b>Zona.:</b>	Desmontera Gavilan
<b>Profundidad:</b>	11.80-13.00	<b>Muestra N°:</b>	M-1
<b>Operador:</b>	E.V.H	<b>Fecha:</b>	Nov-20
<b>Muestra de</b>	Suelo natural	<b>Cálculo:</b>	M.C.C
		<b>Rev:</b>	AM

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)	OBSERVACIONES	
3"	76.200		0.00	0.00	100.00	ANALISIS DE LA MUESTRA	
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	HUMEDAD (%):	<b>31.15</b>
¾"	19.100	0.00	0.00	0.00	100.00	GRUESOS(%):	<b>46.46</b>
½"	12.700	20.00	1.47	1.47	98.53	GRAVA(%):	<b>4.41</b>
⅜"	9.520	1.00	0.07	1.54	98.46	ARENA(%):	<b>42.05</b>
#4	4.760	39.00	2.86	4.41	95.59	GS grava	<b>2.55</b>
Suma		60.00				BANDEJA N°	

TAMIZ.	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	PARCIAL RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA ACUMULADO (%)		OBSERVACIONES
					>#20	Total	
#10	2.000	29.03	11.61	11.61	88.39	84.49	ANALISIS DE LA MUESTRA
#16	1.190	18.67	7.47	19.08	80.92	77.36	
#30	0.590	16.63	6.65	25.73	74.27	71.00	PESO INICIAL
#50	0.297	13.26	5.30	31.04	68.96	65.93	MENOR DE LA
#100	0.149	14.71	5.88	36.92	63.08	60.30	MALLA # 4(gr):
#200	0.074	17.67	7.07	43.99	56.01	53.54	< # 200 (%)
Bandeja		1.34					
Suma		111.31					BANDEJA N°

Límite líquido LL (%)	<b>37.89</b>
Límite plástico LP (%)	<b>28.38</b>
Índice plasticidad IP (%)	<b>9.51</b>
D60 (mm)	<b>0.14</b>
D30 (mm)	<b>0.00</b>
D10 (diámetro efectivo,mm)	<b>0.00</b>
Coefficiente de uniformidad (Cu)	-
Grado de curvatura (Cc)	-

**Clasificación SUCS**  
**ML**







**RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO - CARACTERIZACIONES FISICAS**  
**ASTM - D422 - 63, ASTM - D4318 - 0 0, ASTM - D2216 - 98**

HOJA : 1

DE : 1

PROYECTO:		Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra													N° PROYECTO:		20-R-007-03		UBICACIÓN :				Yauli-Junin		FECHA :		Nov-20	
CLIENTE :		Compañía Minera Volcan													OPERADOR:		M.C.C		REVISADO :				AM		APROBADO:		MV	
SONDEO	Prof. (m)	Porcentaje Acumulado que Pasa la Malla ASTM														g (gr/cc)		LL	LP	IP	w	SUCS	Qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Gs (grava)	Gs (finos)			
		3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#10	#16	#30	#50	#100	#200	Hum.	Seca	%	%	%	%							
HTg-01 - M-1	11.80-13.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	98.5	98.5	95.59	84.5	77.4	71.0	65.9	60.3	53.5			38	28	10	31.1	ML		2.55				
HTg-01 - M-2	15.60-16.90	100.0	100.0	100.0	100.0	99.3	99.1	97.6	93.98	81.7	73.5	64.6	58.3	51.9	45.8			37	25	12	32.1	SM		2.65				

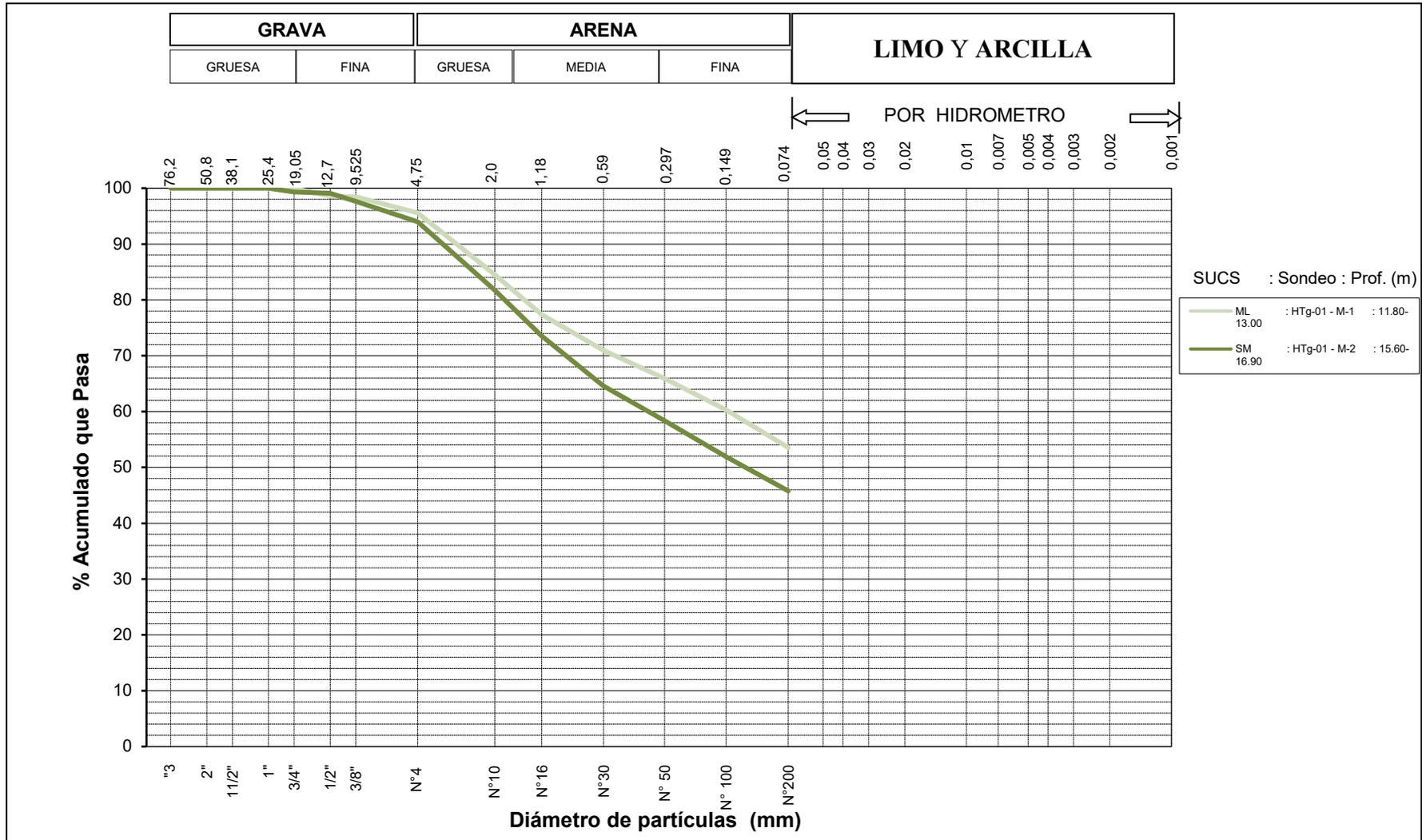
## Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D422-63)

**PROYECTO :** Estudio de Ingeniería para depósito de relaves y desmonte de la Unidad Minera Carahuacra

**N° PROYECTO :** 20-R-007-03

**CLIENTE :** Compañía Minera-Volcan

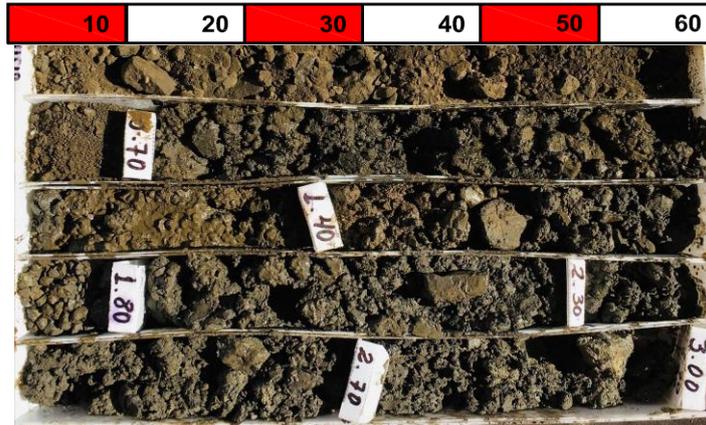
**UBICACIÓN :** Yauli-Junin



**ANEXO 10**  
**PANEL FOTOGRAFICO**

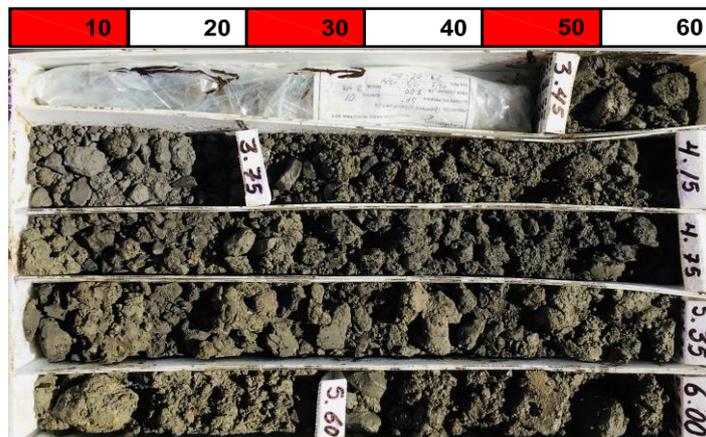
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 0 0.00 - 03.00 m

Caja : 01 de 17



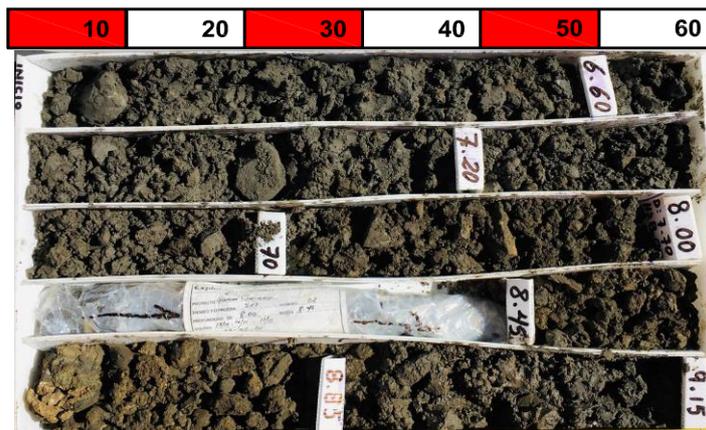
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 03.00 - 06.00 m

Caja : 02 de 17



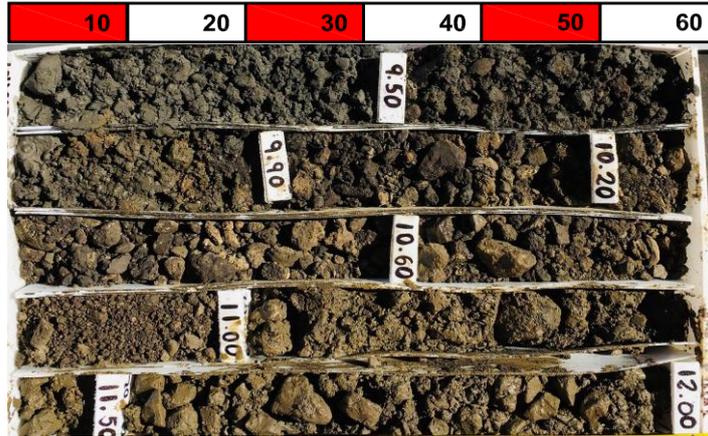
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 06.00 - 9.15 m

Caja : 03 de 17



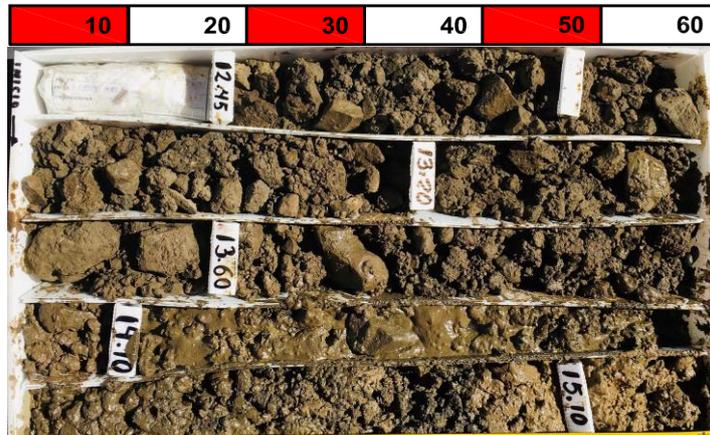
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 9.15 - 12.00m

Caja : 04 de 17



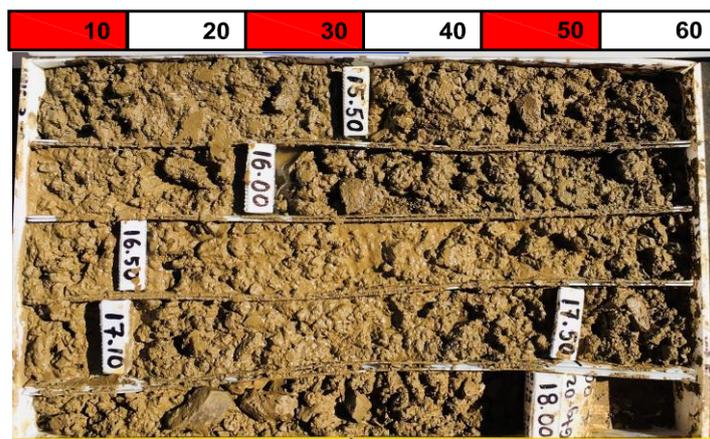
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 12.00m - 15.20m

Caja : 05 de 17



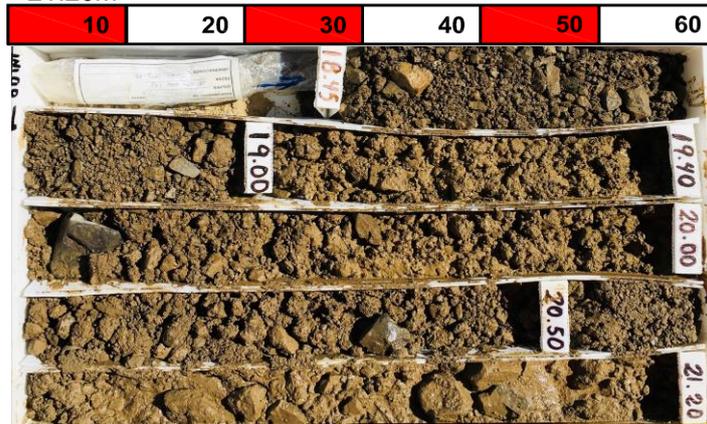
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 15.20 - 18.00m

Caja : 06 de 17



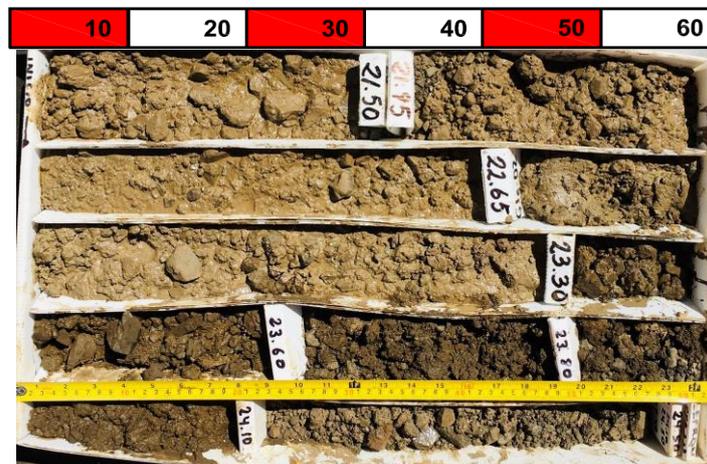
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 18.00 - 21.20m

Caja : 07 de 17



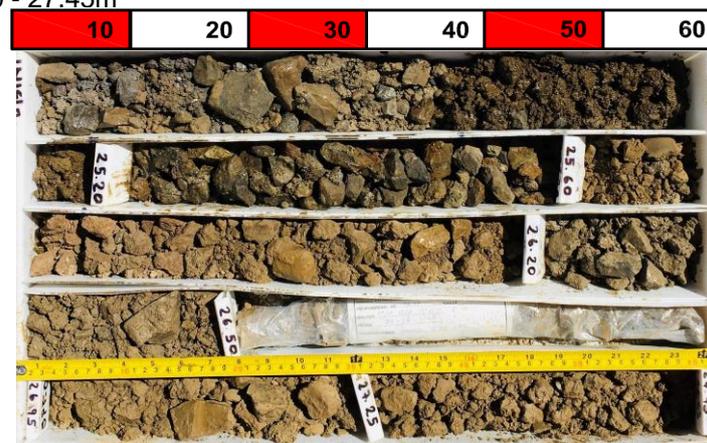
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 21.20m - 24.50m

Caja : 08 de 17



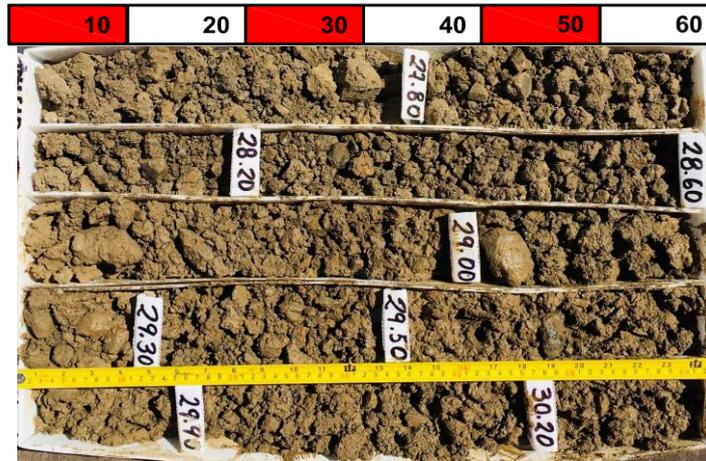
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 24.50 - 27.45m

Caja : 09 de 17



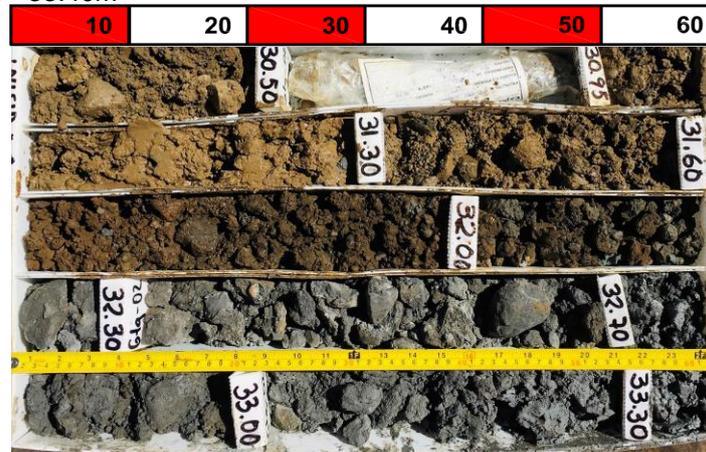
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 27.45 - 30.30m

Caja : 10 de 17



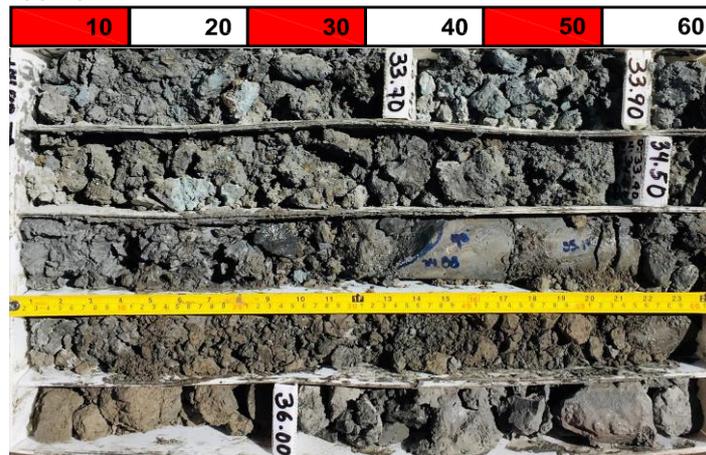
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 30.30 - 33.40m

Caja : 11 de 17



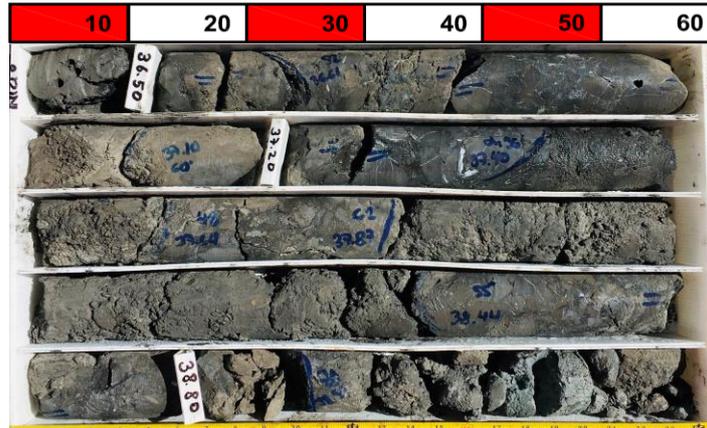
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 33.40 - 36.40m

Caja : 12 de 17



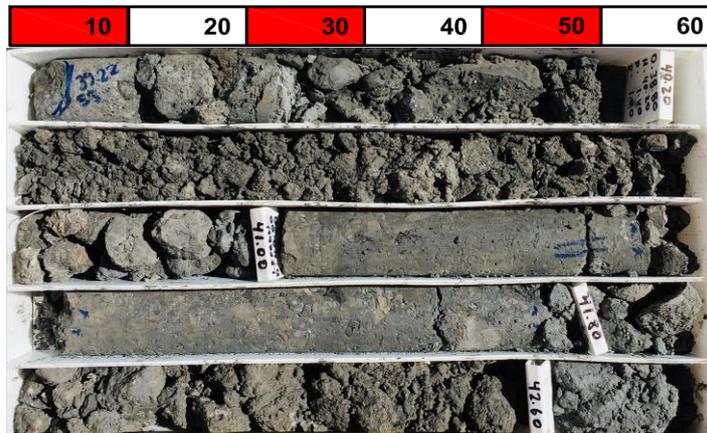
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 36.40 - 39.20m

Caja : 13 de 17



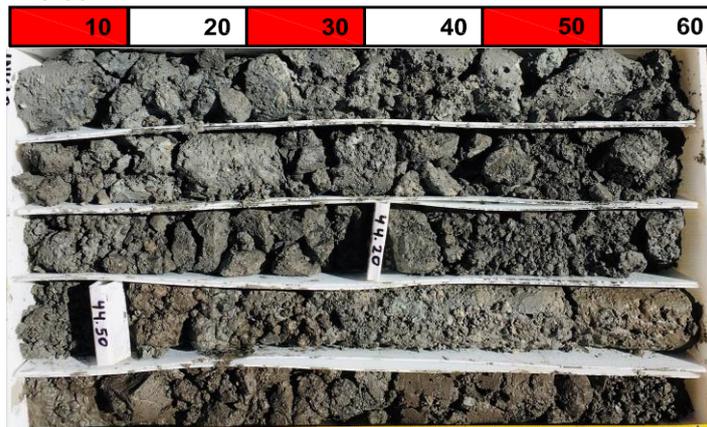
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 39.20 - 42.70m

Caja : 14 de 17



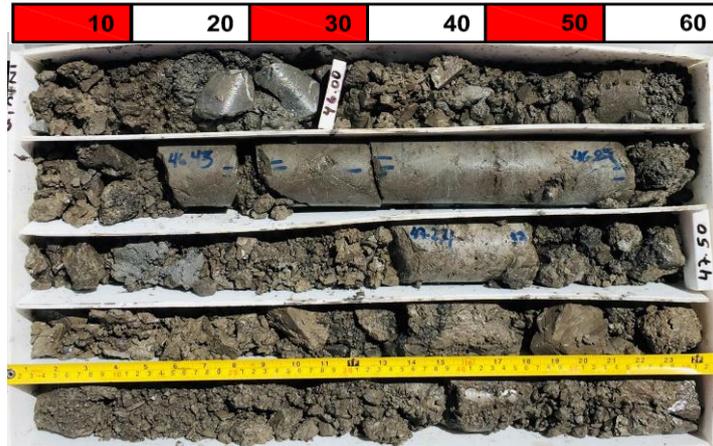
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 42.70 - 45.60m

Caja : 15 de 17



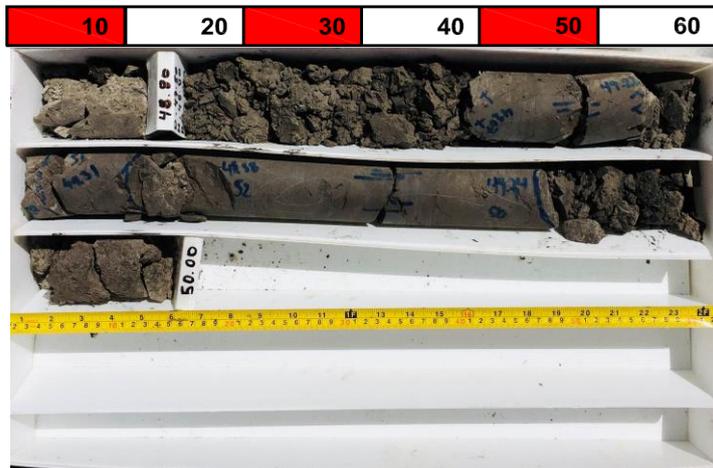
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 45.60 - 48.70m

Caja : 16 de 17



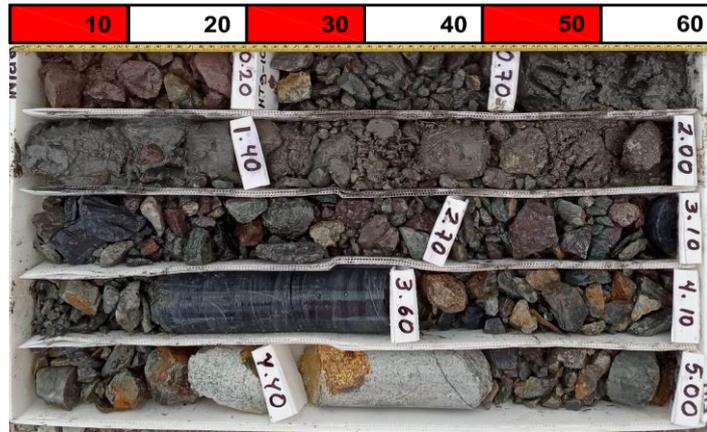
Sondeo : GTg-02  
Profundidad : 48.70 - 50.00m

Caja : 17 de 17



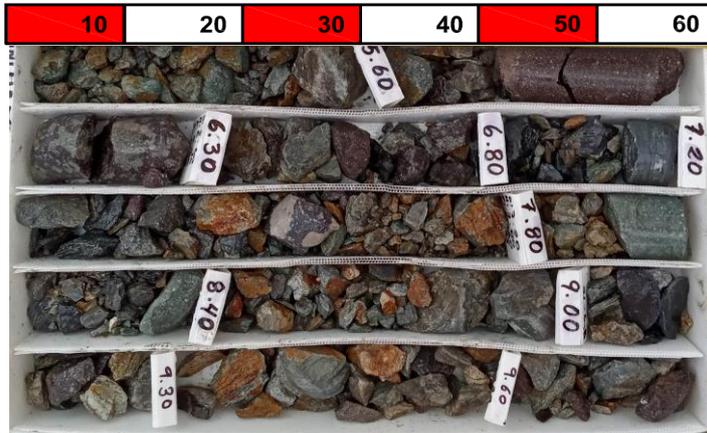
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 0.00m - 05.00m

Caja : 01 de 16



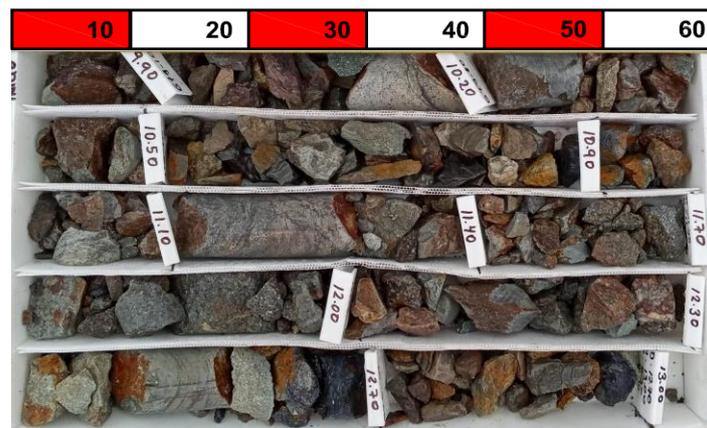
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 05.00m - 09.80m

Caja : 02 de 16



Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 09.80m - 13.00m

Caja : 03 de 16



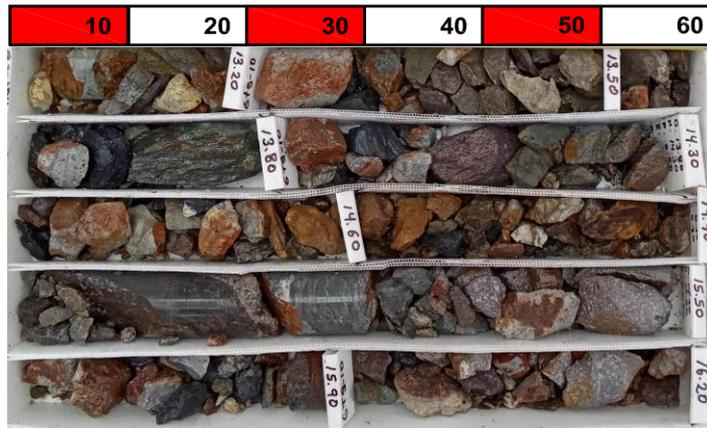
Hoja 01 de 06

Sondaje Diamantino:  
GTg-10

Fecha  
Noviembre del 2020

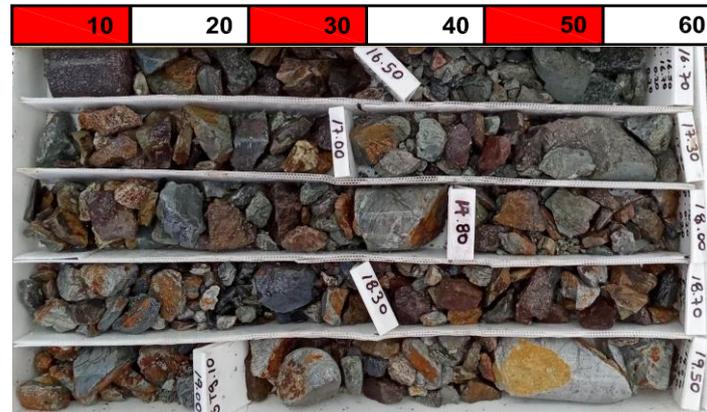
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 13.00m - 16.20m

Caja : 04 de 16



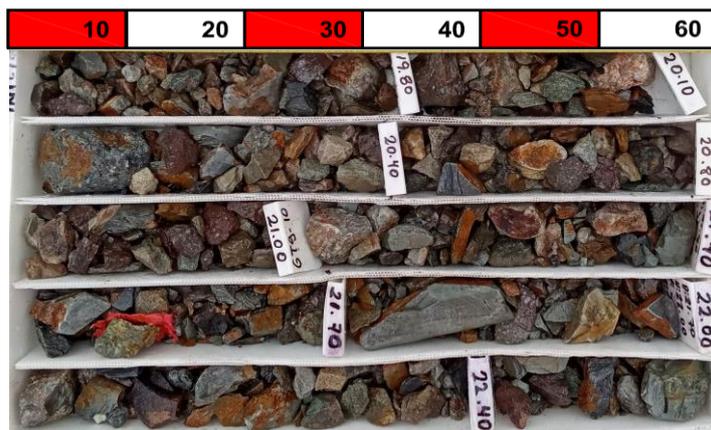
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 16.20m - 19.50m

Caja : 05 de 16



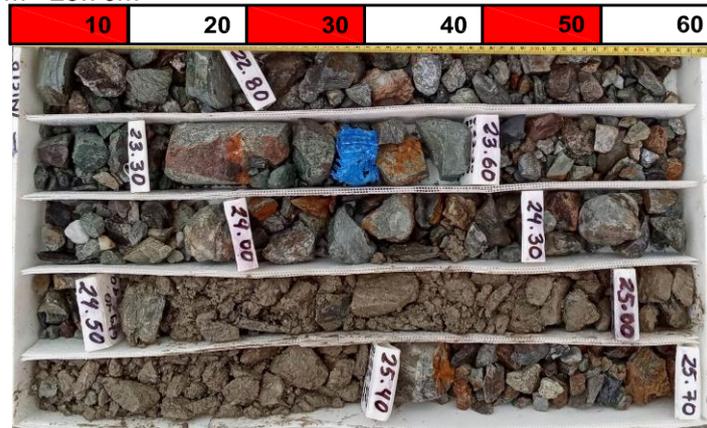
Sondeo :GTg-10  
Profundidad : 19.50m - 22.60m

Caja : 06 de 16



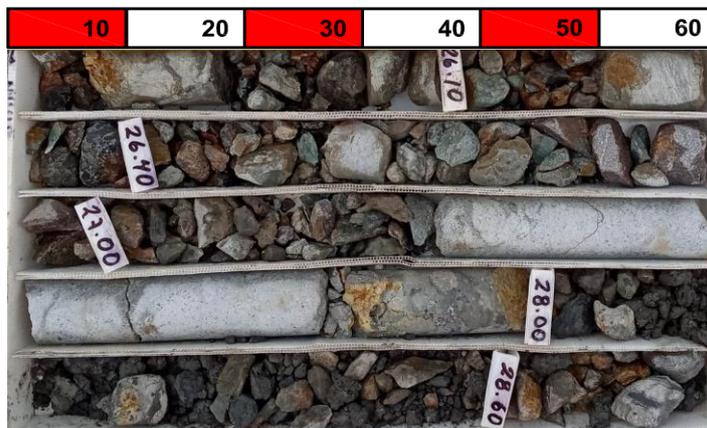
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 22.60m - 25.70m

Caja : 07 de 16



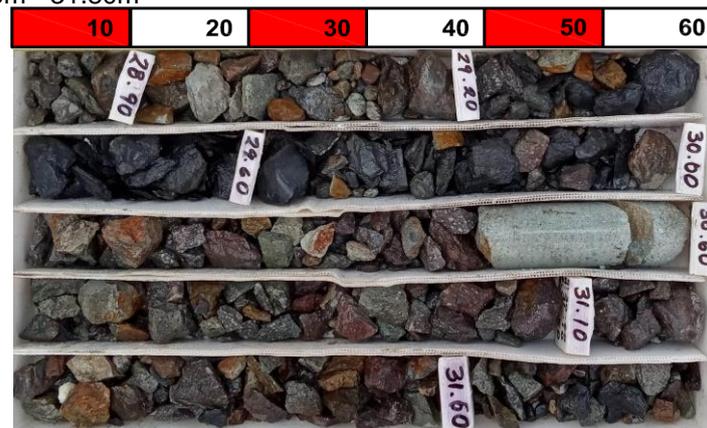
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 25.70m - 28.80m

Caja : 08 de 16



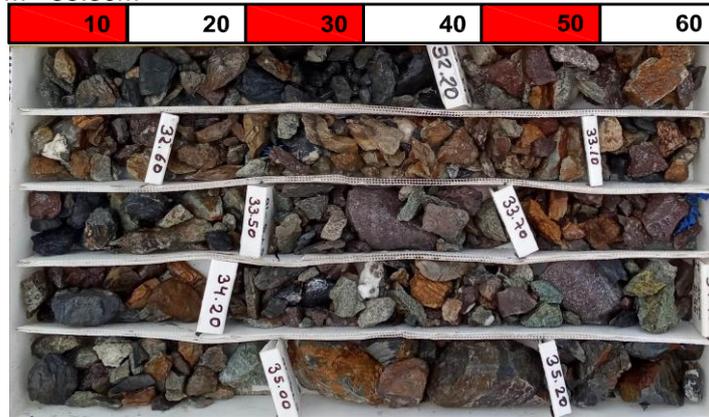
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 28.80m - 31.80m

Caja : 09 de 16



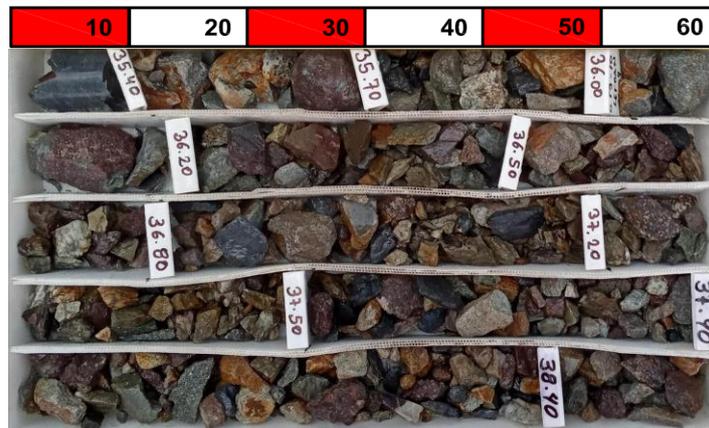
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 31.80m - 35.30m

Caja : 10 de 16



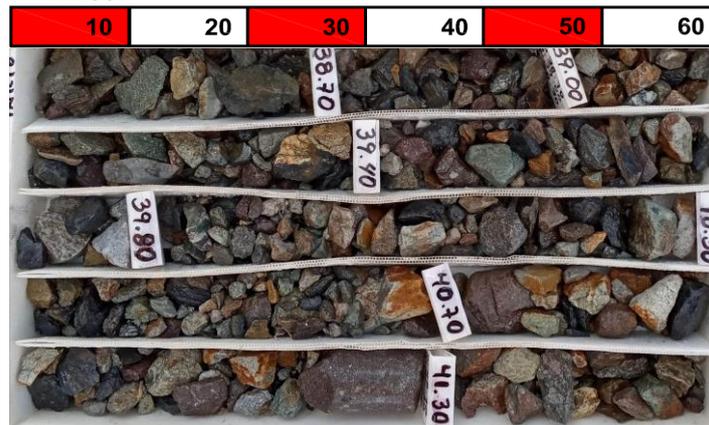
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 35.30m - 38.50m

Caja : 11 de 16



Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 38.50m - 41.60m

Caja : 12 de 16



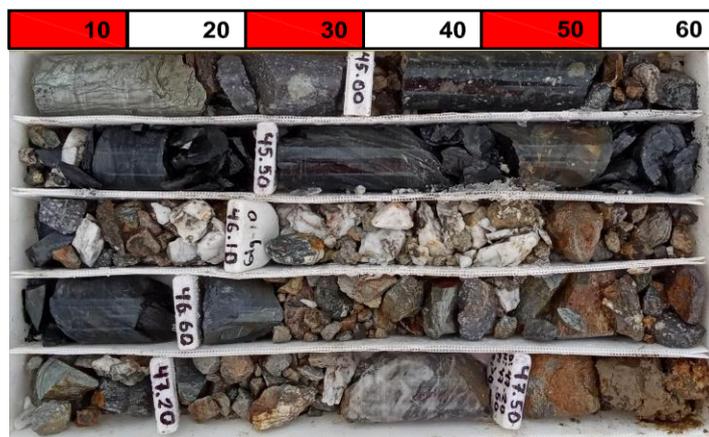
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 41.60m - 44.70m

Caja : 13 de 16



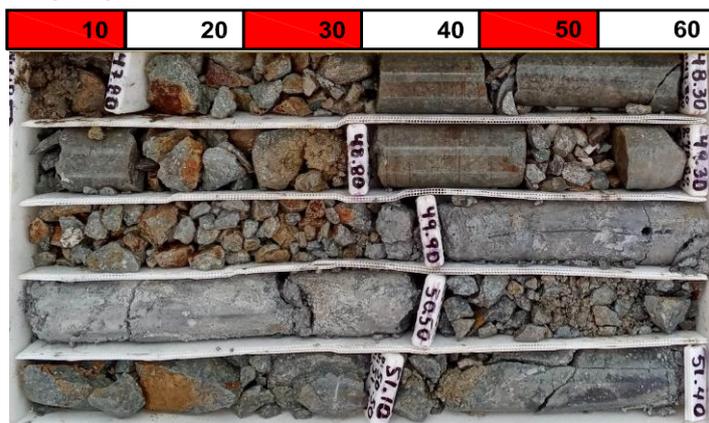
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 44.70m - 47.70m

Caja : 14 de 16



Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 47.70m - 51.40m

Caja : 15 de 16



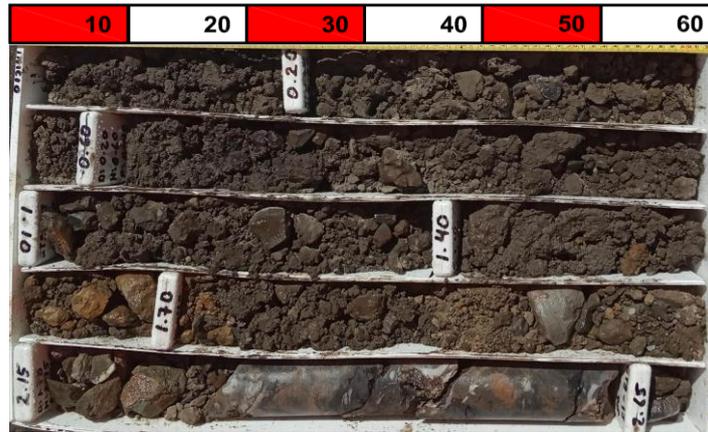
Sondeo : GTg-10  
Profundidad : 51.40m - 52.20m

Caja : 16 de 16



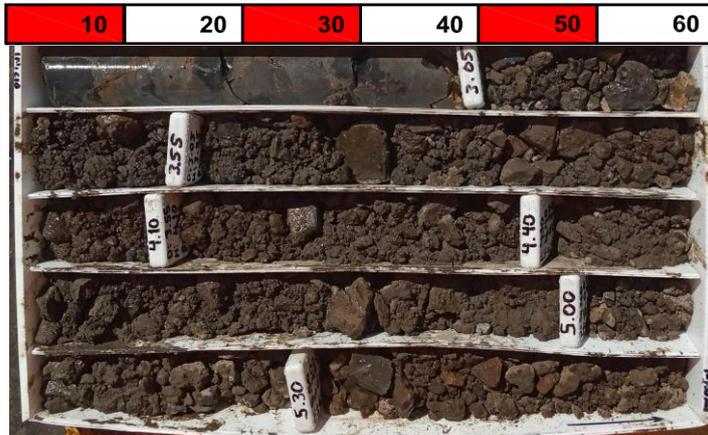
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 0.00m - 2.70m

Caja : 01 de 12



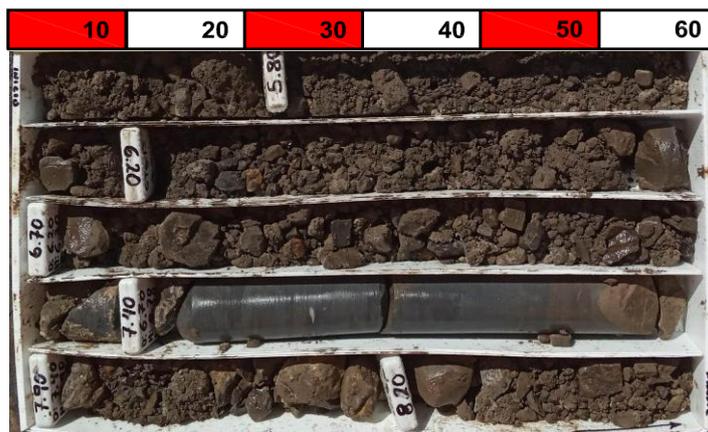
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 2.70m - 5.60m

Caja : 02 de 12



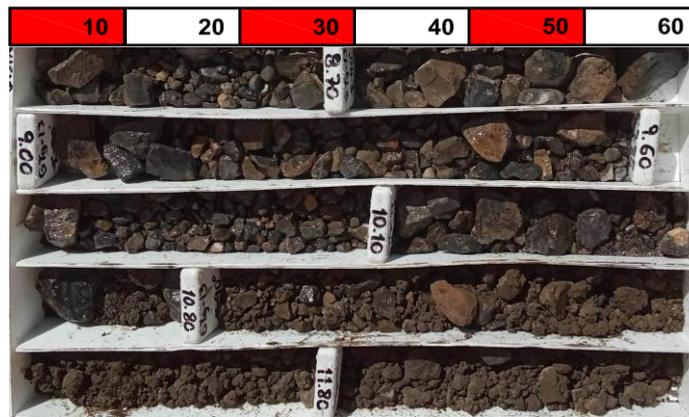
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 5.60m - 8.40m

Caja : 03 de 12



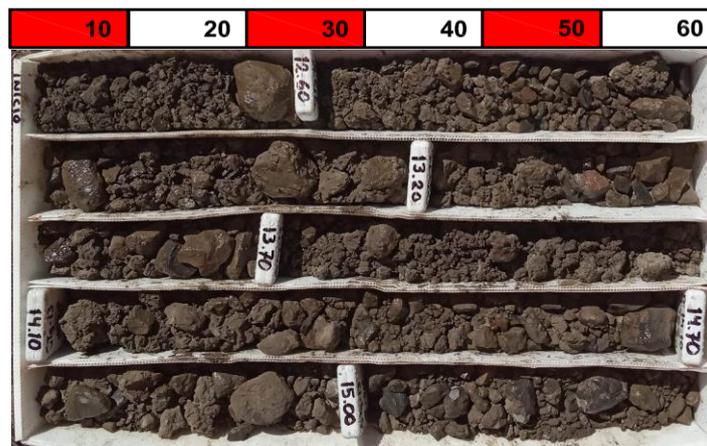
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 8.40m - 12.10m

Caja : 04 de 12



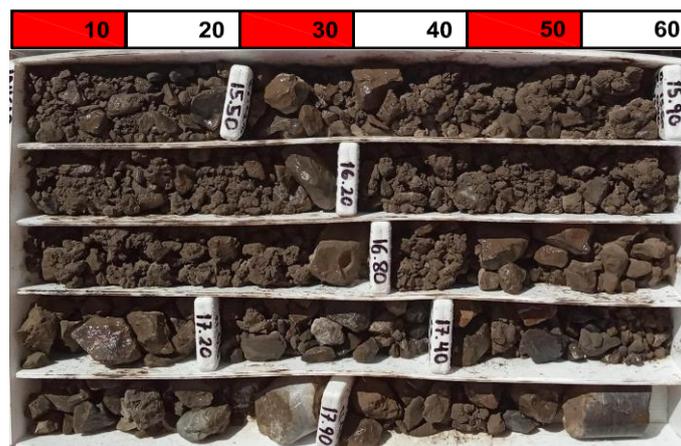
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 12.10m - 15.30m

Caja : 05 de 12



Sondeo :GTg-13  
Profundidad : 15.30m - 18.20m

Caja : 06 de 12



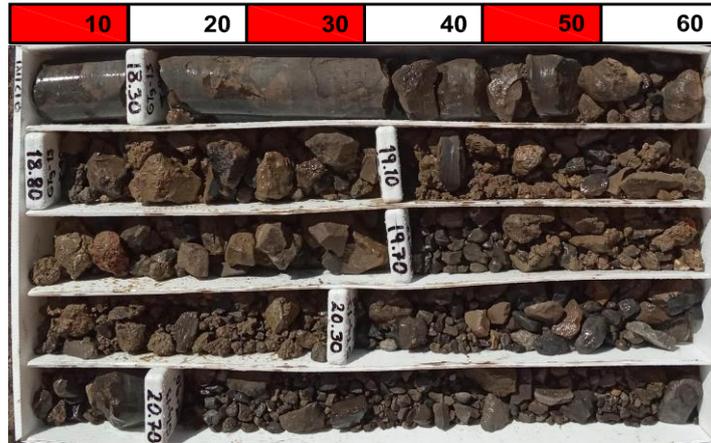
Hoja 02 de 04

Sondaje Diamantino:  
GTg-13

Fecha  
Noviembre del 2020

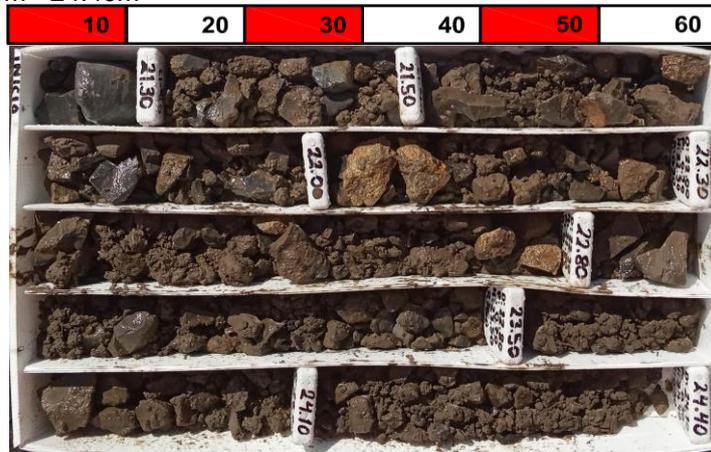
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 18.20m - 21.20m

Caja : 07 de 12



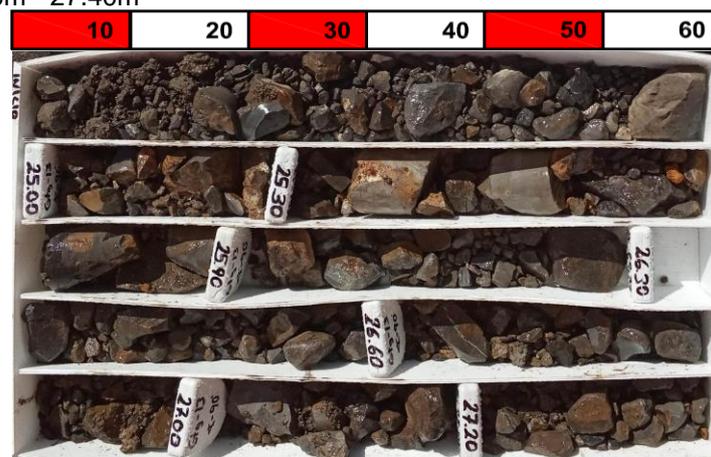
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 21.20m - 24.40m

Caja : 08 de 12



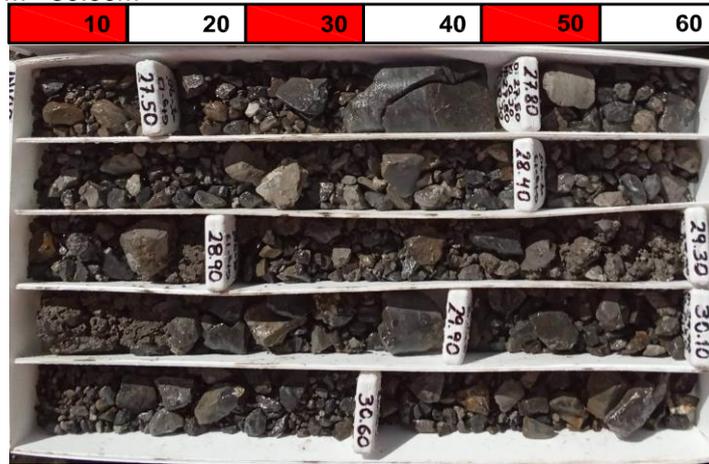
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 24.40m - 27.40m

Caja : 09 de 12



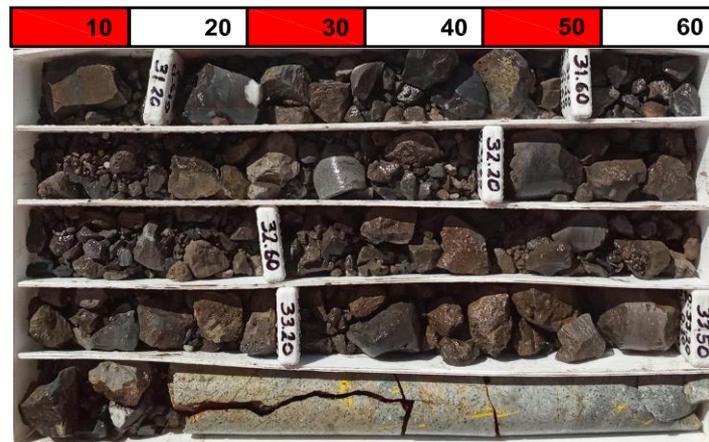
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 27.40m - 30.90m

Caja : 10 de 12



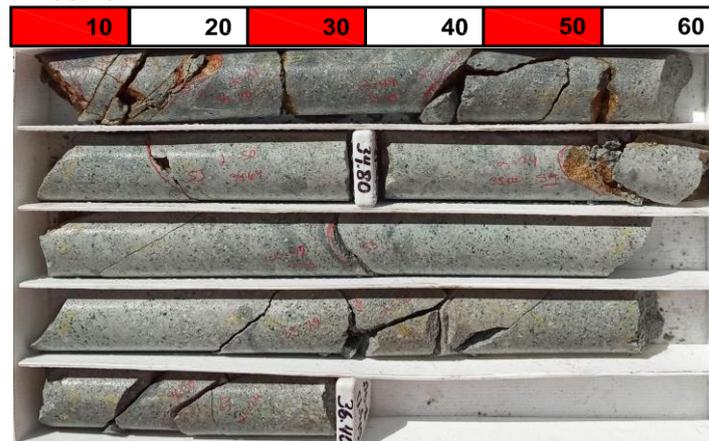
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 30.90m - 34.10m

Caja : 11 de 12



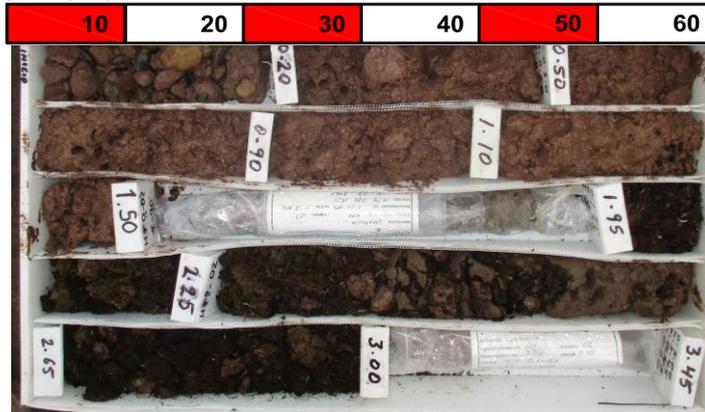
Sondeo : GTg-13  
Profundidad : 34.10m - 36.40m

Caja : 12 de 12



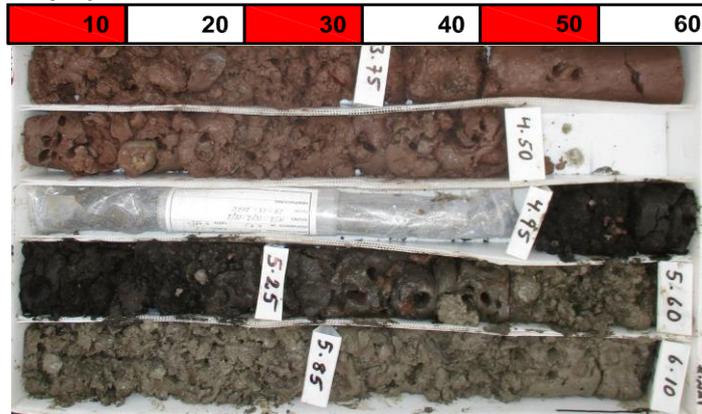
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 0.00m - 3.45m

Caja : 01 de 31



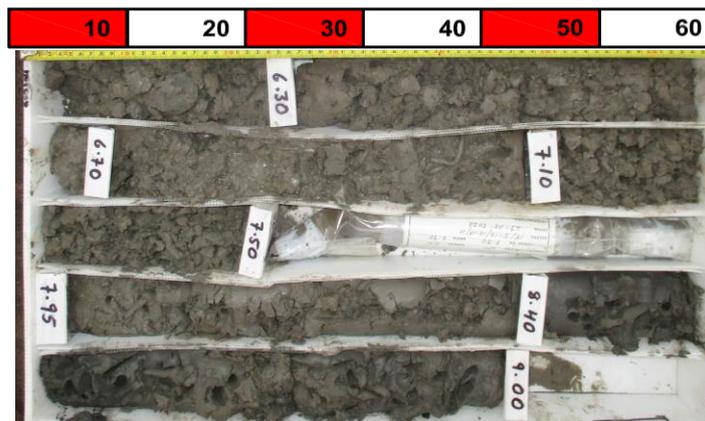
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 3.45m - 6.10m

Caja : 02 de 31



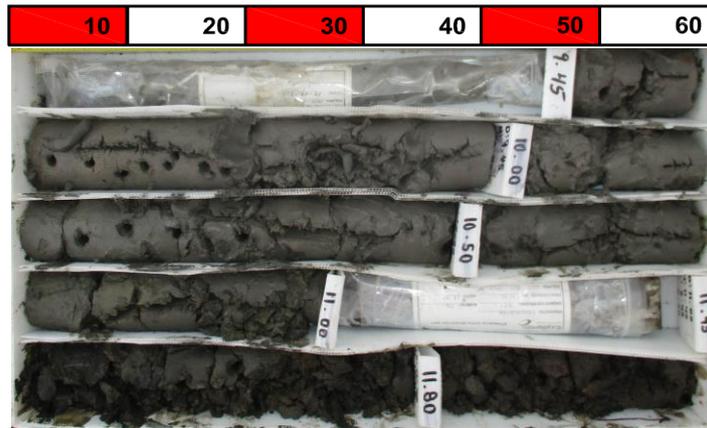
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 6.10m - 9.00m

Caja : 03 de 31



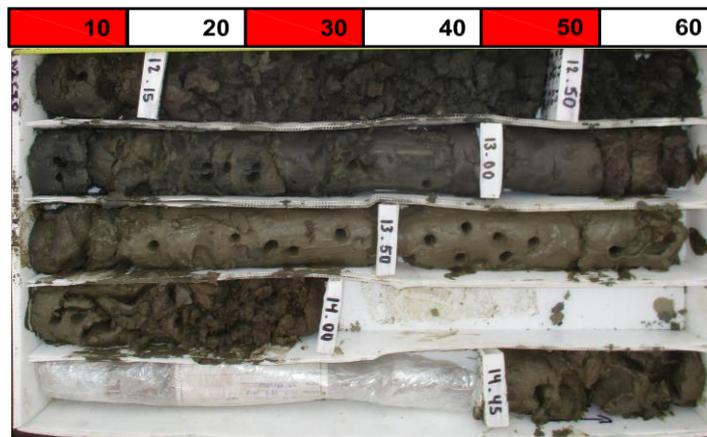
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 9.00m - 12.05m

Caja : 04 de 31



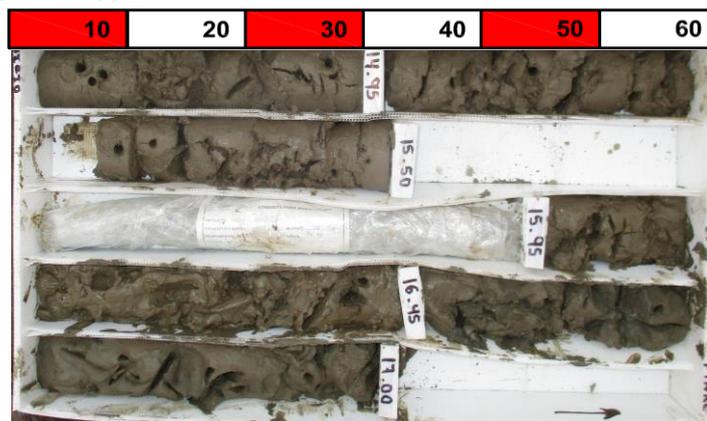
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 31.05m - 14.65m

Caja : 05 de 31



Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 14.65m - 17.00m

Caja : 06 de 31



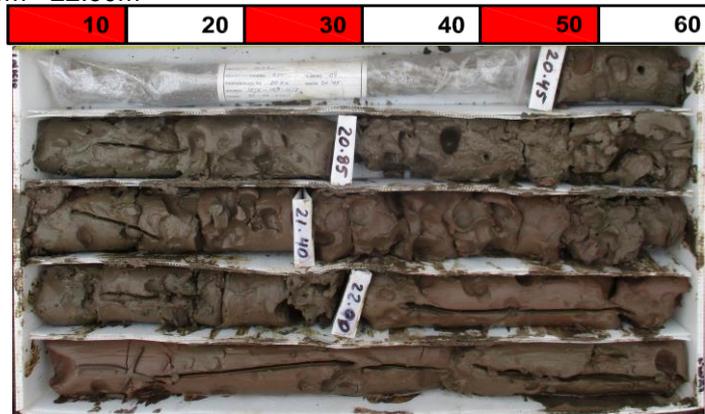
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 17.00m - 20.00m

Caja : 07 de 31



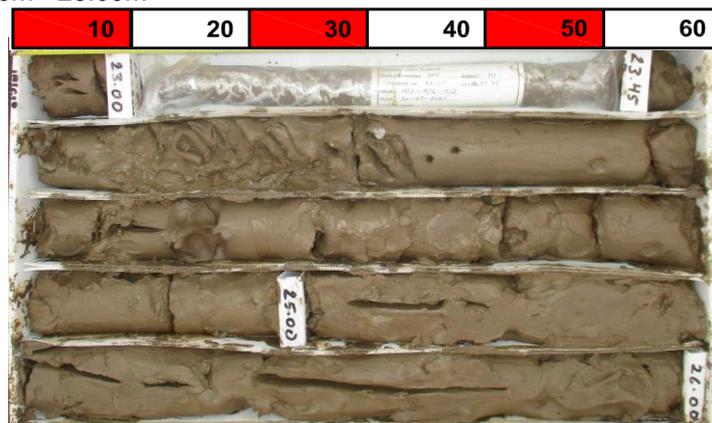
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 20.00m - 22.90m

Caja : 08 de 31



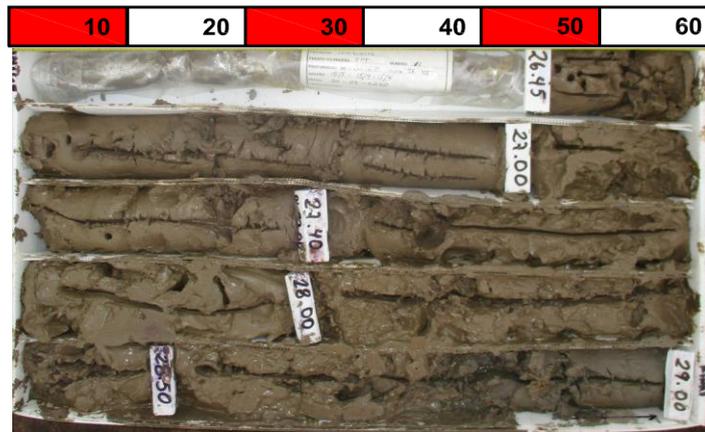
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 22.90m - 26.00m

Caja : 09 de 31



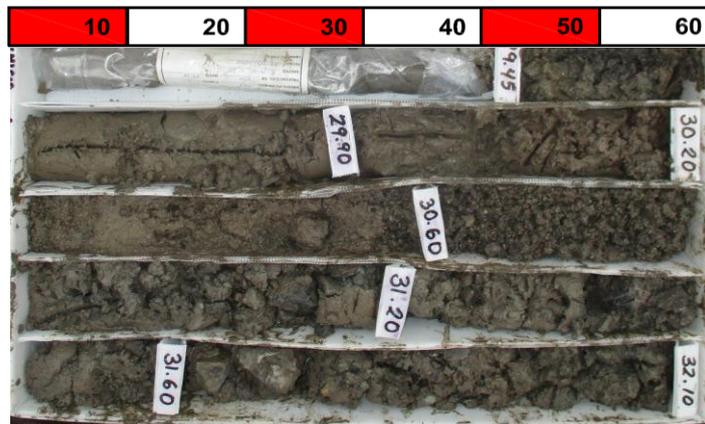
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 26.00m - 29.00m

Caja : 10 de 31



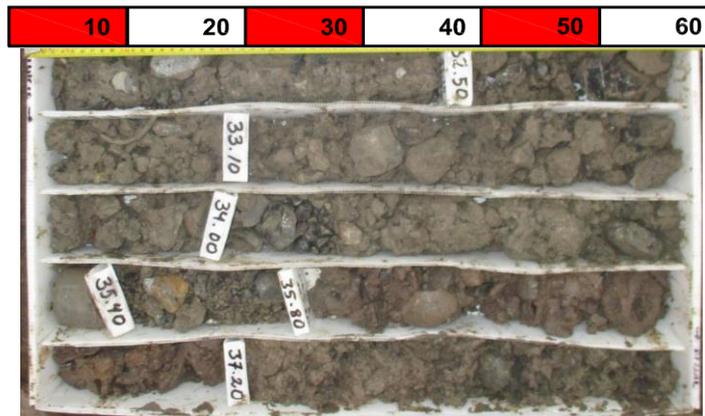
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 29.00m - 32.10m

Caja : 11 de 31



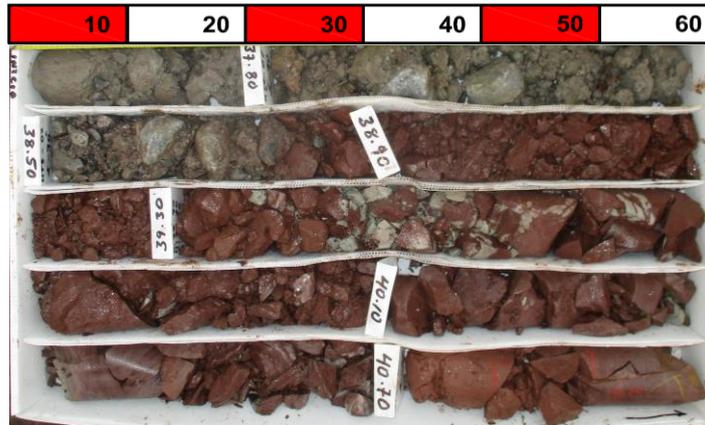
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 32.10m - 37.60m

Caja : 12 de 31



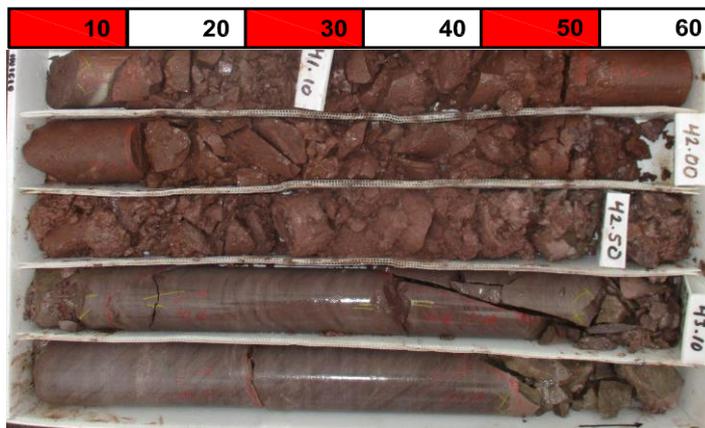
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 37.60m - 40.90m

Caja : 13 de 31



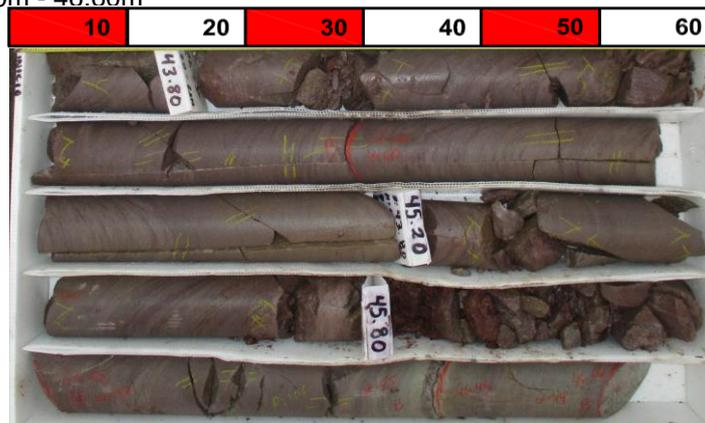
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 40.90m - 43.70m

Caja : 14 de 31



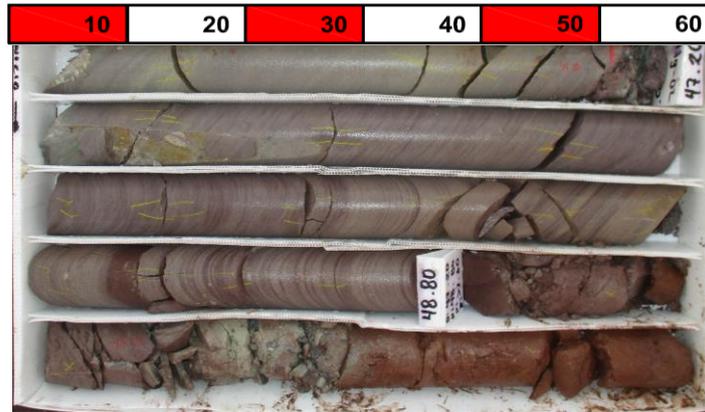
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 43.70m - 46.60m

Caja : 15 de 31



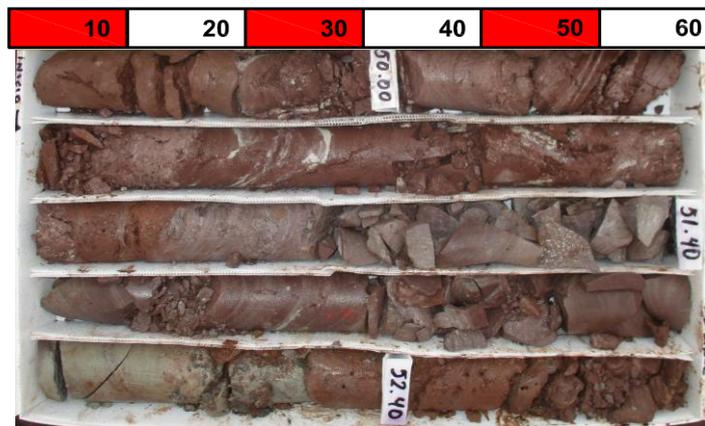
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 46.60m - 49.90m

Caja : 16 de 31



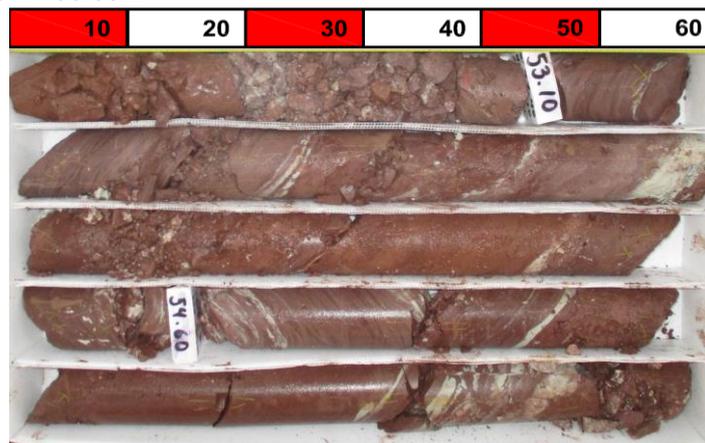
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 49.60m - 52.60m

Caja : 17 de 31



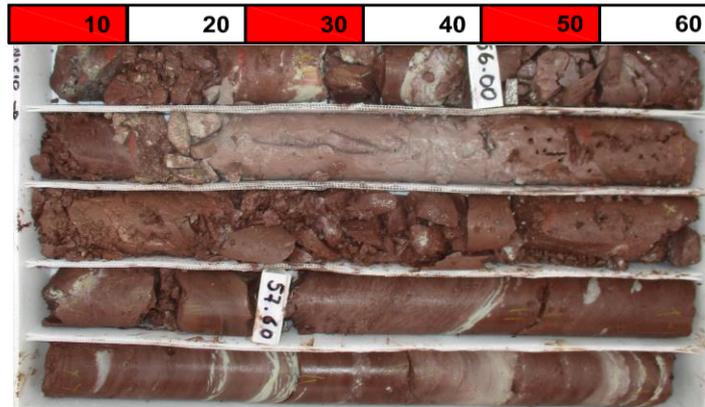
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 52.60m - 55.60m

Caja : 18 de 31



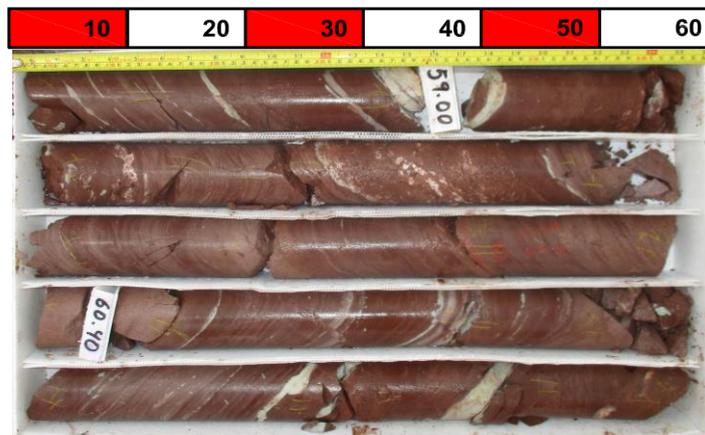
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 55.60m - 58.60m

Caja : 19 de 31



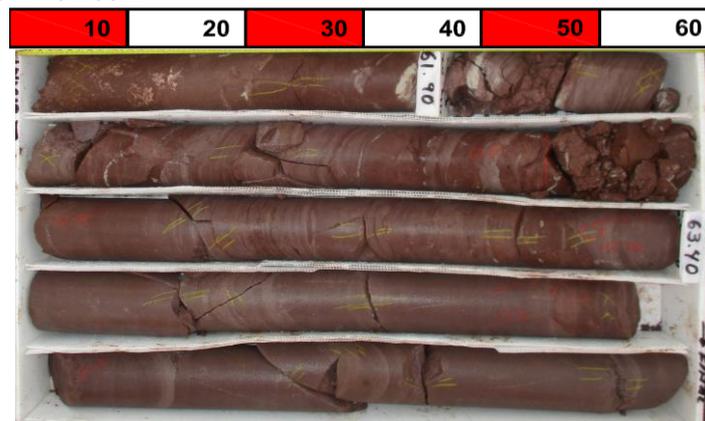
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 58.60m - 61.50m

Caja : 20 de 31



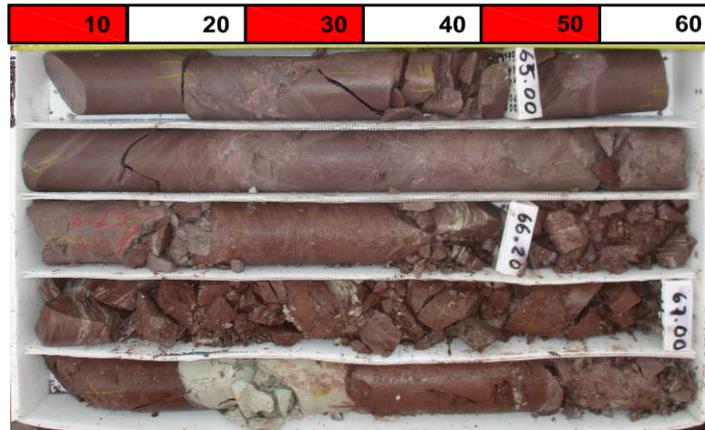
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 61.50m - 64.60m

Caja : 21 de 31



Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 64.60m - 67.60m

Caja : 22 de 31



Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 67.60m - 70.40m

Caja : 23 de 31



Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 70.40m - 73.50m

Caja : 24 de 31



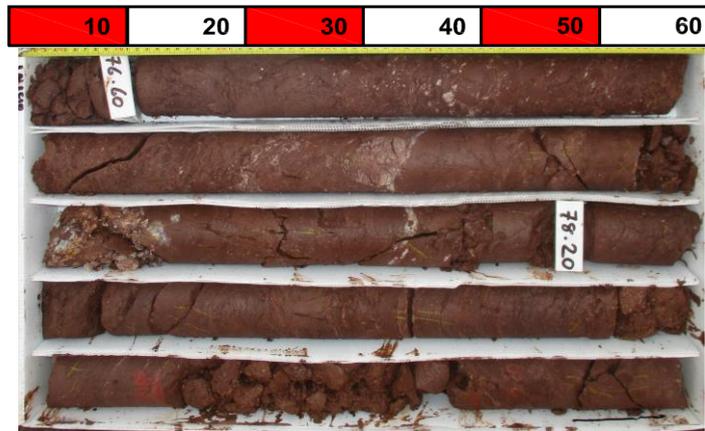
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 73.50m - 76.50m

Caja : 25 de 31



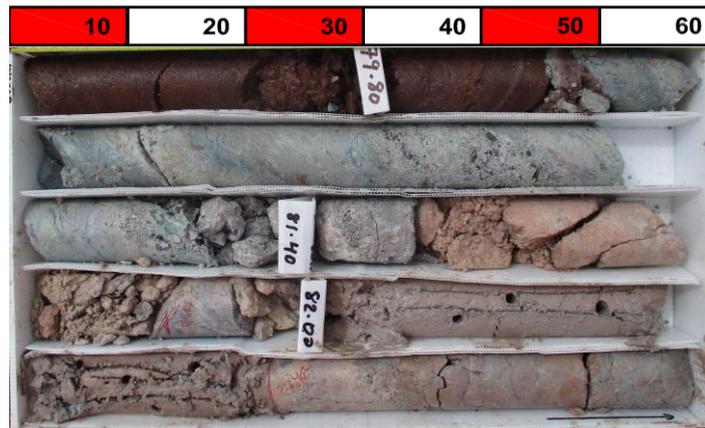
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 76.50m - 79.50m

Caja : 26 de 31



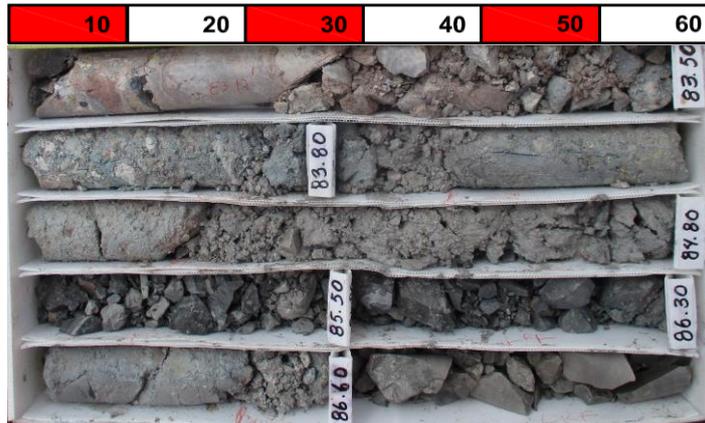
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 79.50m - 82.90m

Caja : 27 de 31



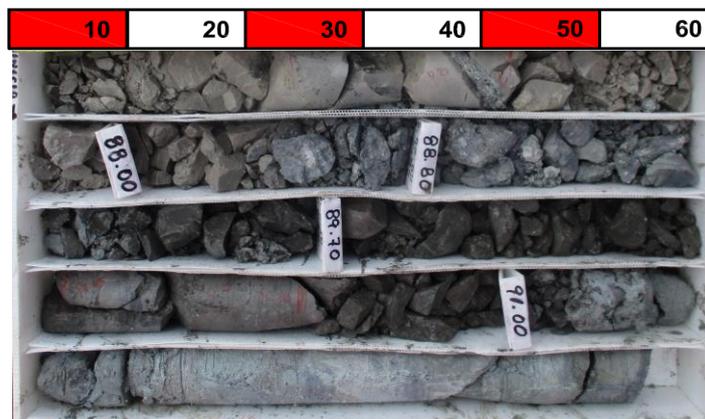
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 82.90m - 86.90m

Caja : 28 de 31



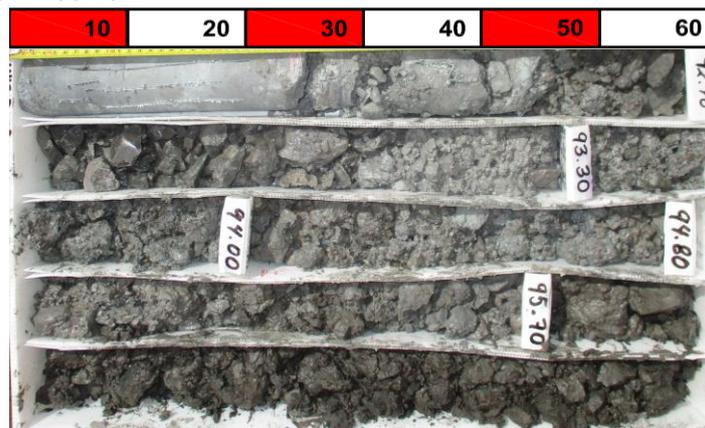
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 86.90m - 91.80m

Caja : 29 de 31



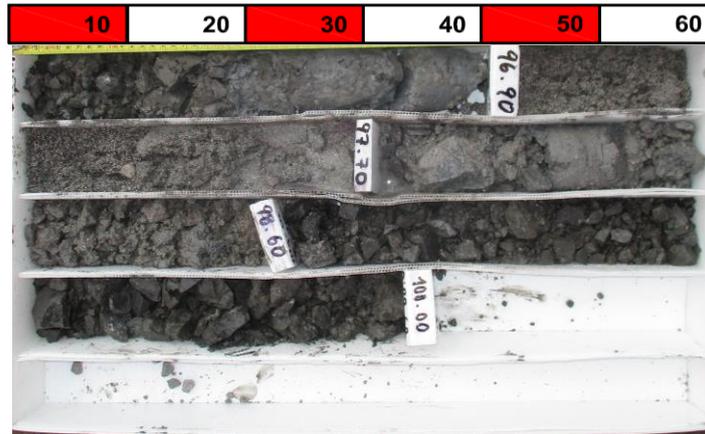
Sondeo : HTg-02  
Profundidad : 91.80m - 96.40m

Caja : 30 de 31



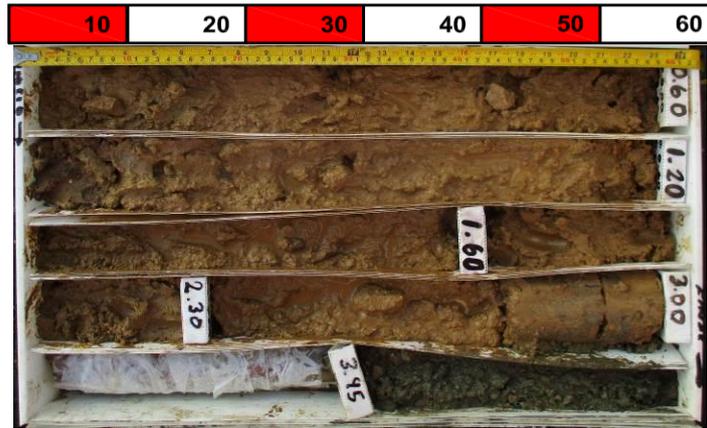
Sondeo : HTG-02  
Profundidad : 96.40m -100.00m

Caja : 31 de 31



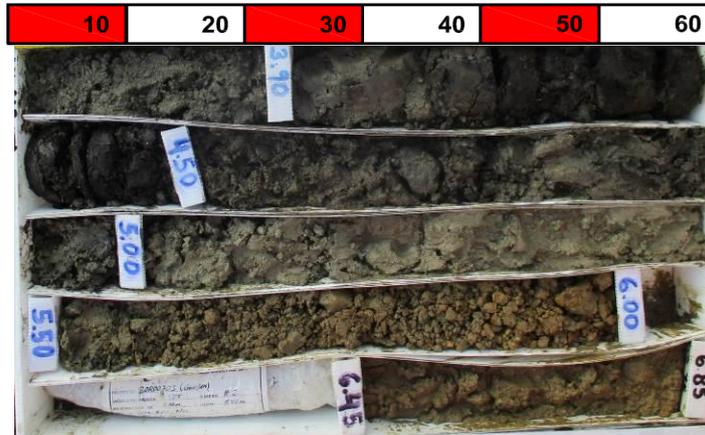
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 0.00m - 3.75m

Caja : 01 de 43



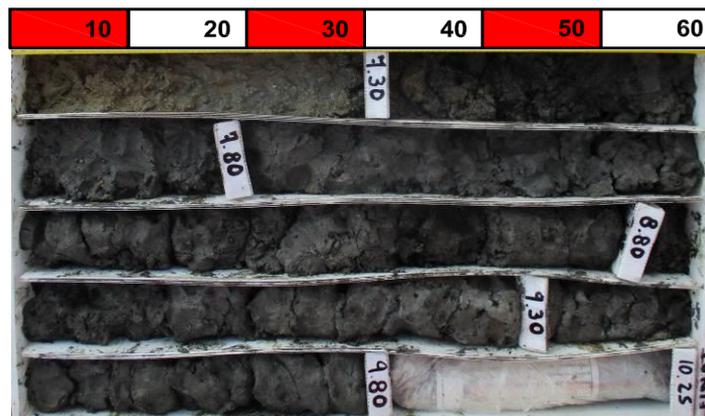
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 3.75m - 6.85m

Caja : 02 de 43



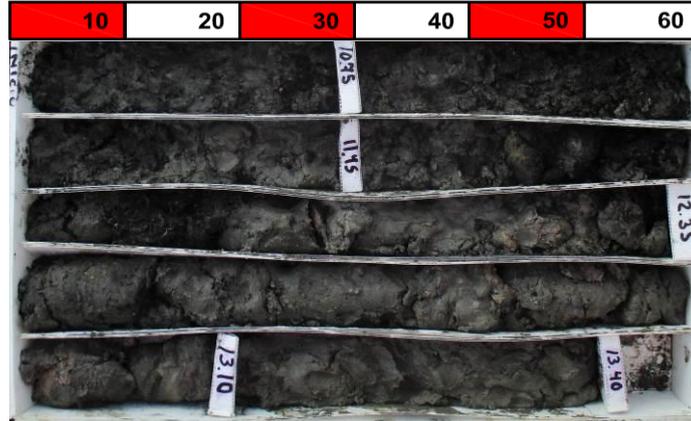
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 6.85m - 10.25m

Caja : 03 de 43



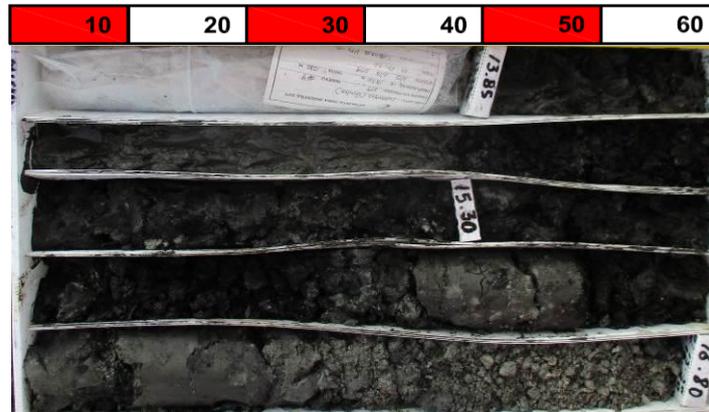
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 10.25m - 13.40m

Caja : 04 de 43



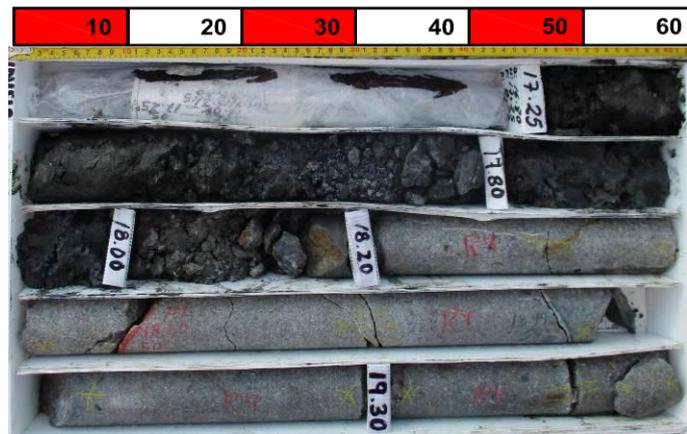
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 13.40m - 16.80m

Caja : 05 de 43



Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 16.80m - 19.60m

Caja : 06 de 43



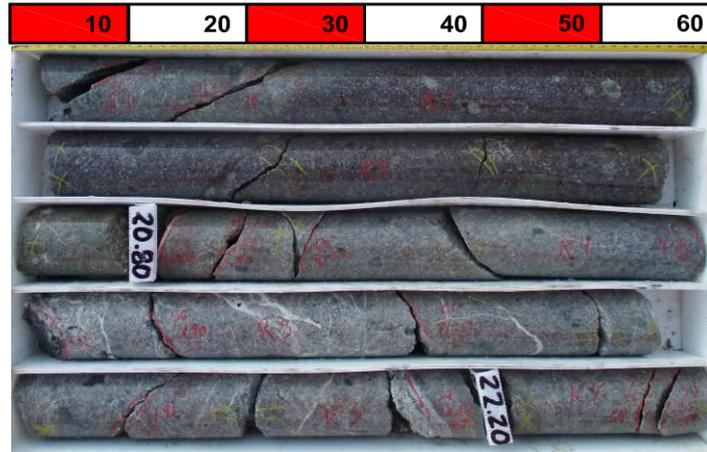
Hoja 02 de 15

Sondaje Diamantino:  
HTg-05

Fecha  
Noviembre del 2020

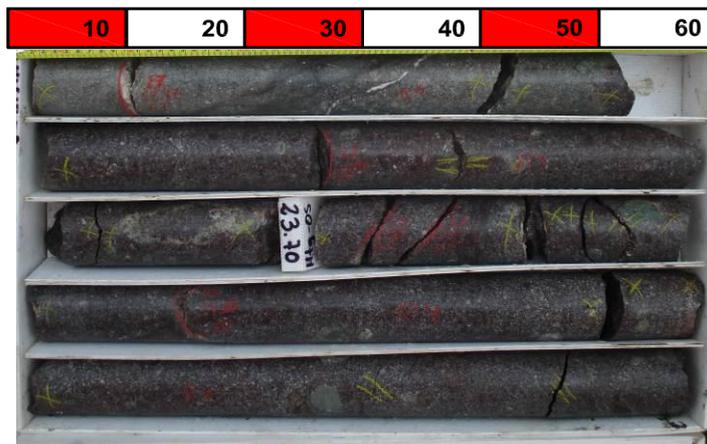
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 19.60m - 22.40m

Caja : 07 de 43



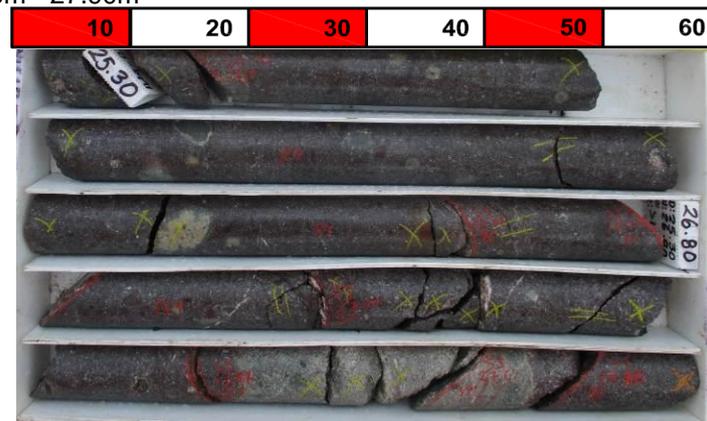
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 22.40m - 25.20m

Caja : 08 de 43



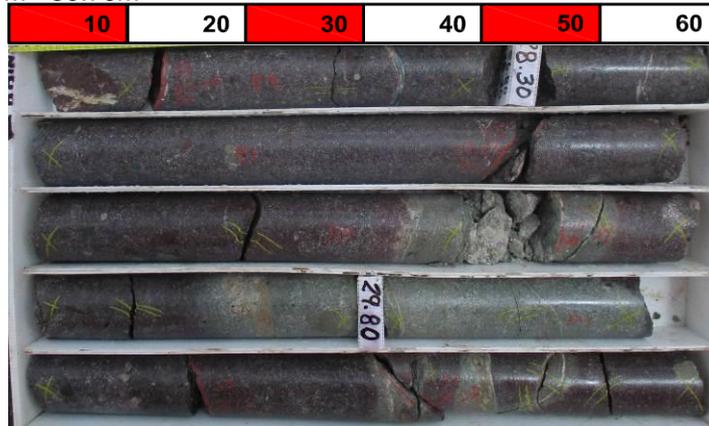
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 25.20m - 27.90m

Caja : 09 de 43



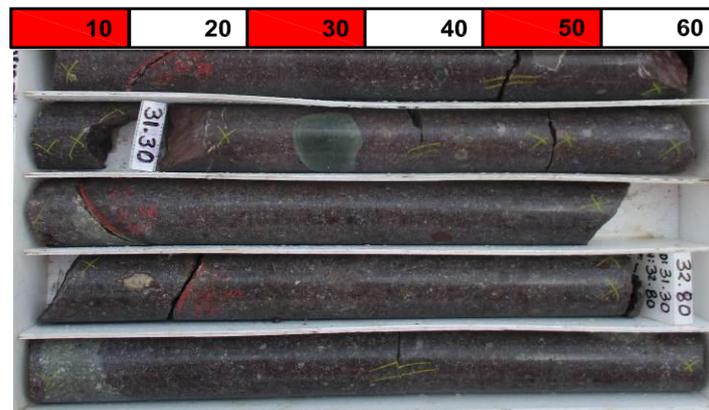
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 27.90m - 30.70m

Caja : 10 de 43



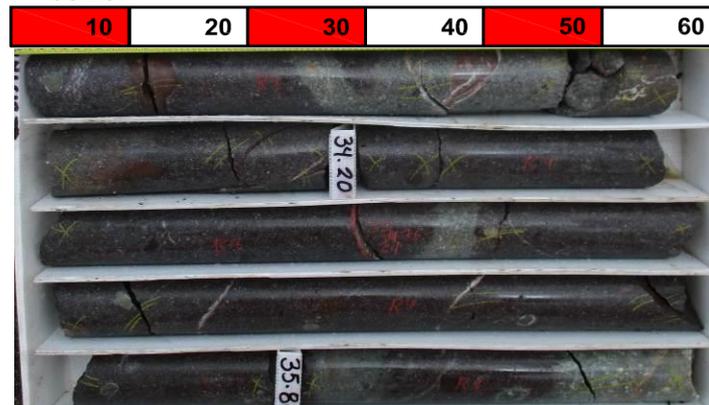
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 30.70m - 33.40m

Caja : 11 de 43



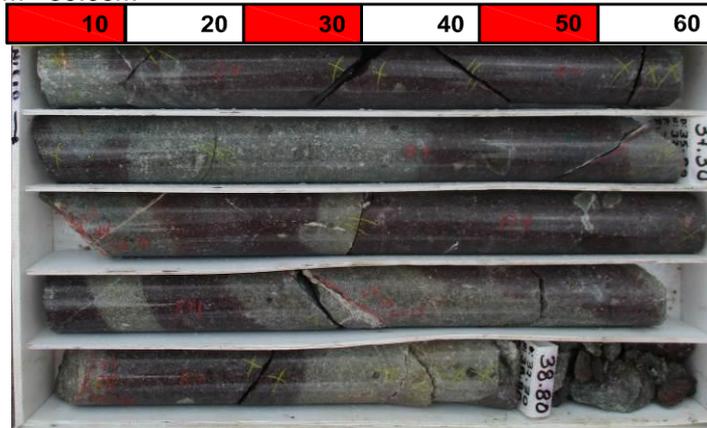
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 33.40m - 36.20m

Caja : 12 de 43



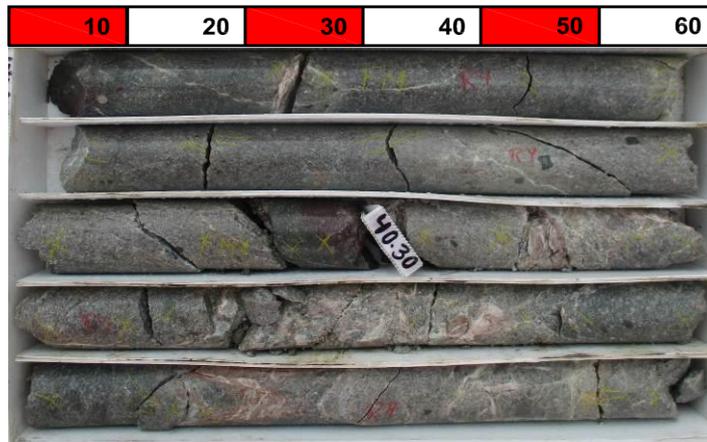
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 36.20m - 39.00m

Caja : 13 de 43



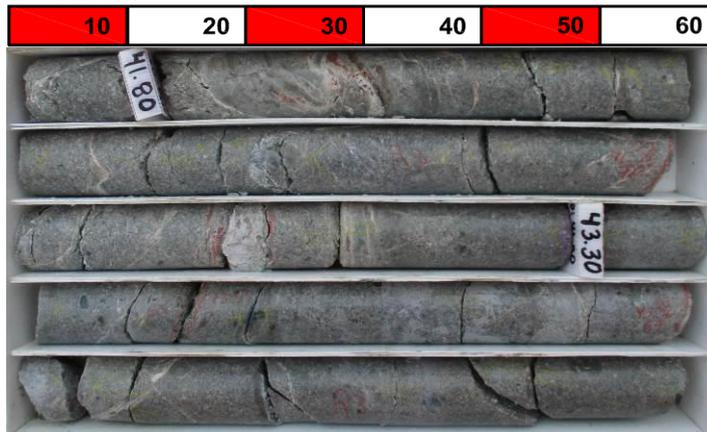
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 39.00m - 41.70m

Caja : 14 de 43



Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 41.70m - 44.50m

Caja : 15 de 43



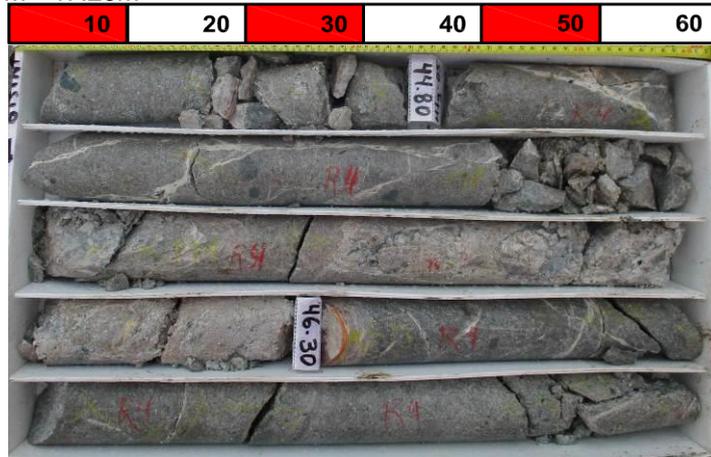
Hoja 05 de 15

Sondaje Diamantino:  
HTg-05

Fecha  
Noviembre del 2020

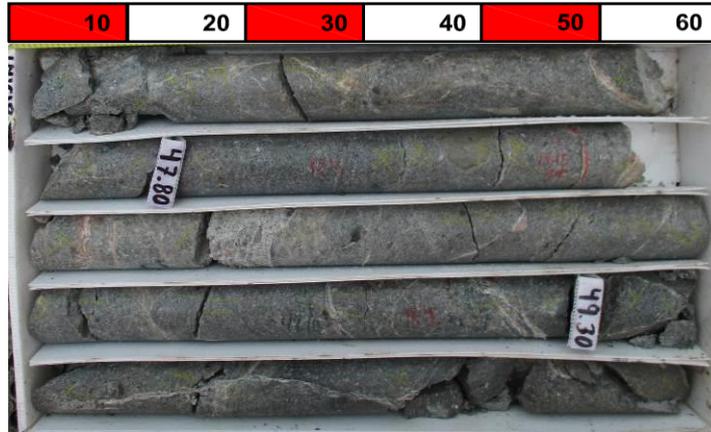
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 43.50m - 47.20m

Caja : 16 de 43



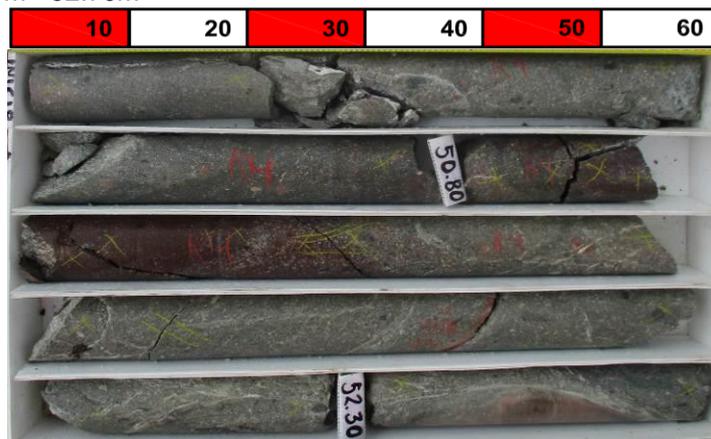
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 47.20m - 50.00m

Caja : 17 de 43



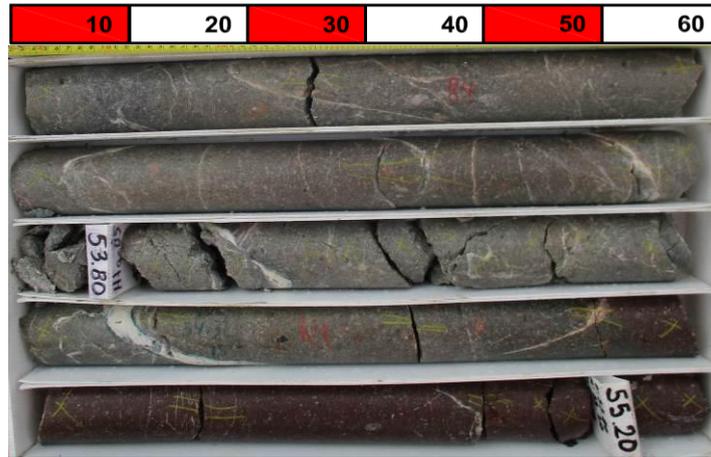
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 50.00m - 52.70m

Caja : 18 de 43



Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 52.70m - 55.30m

Caja : 19 de 43



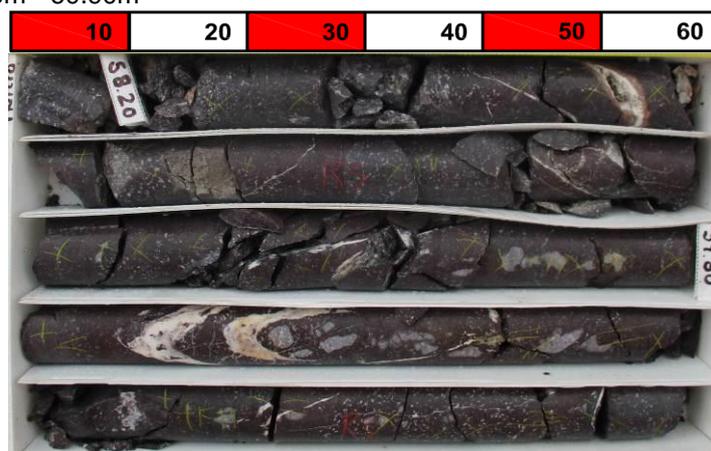
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 55.30m - 58.10m

Caja : 20 de 43



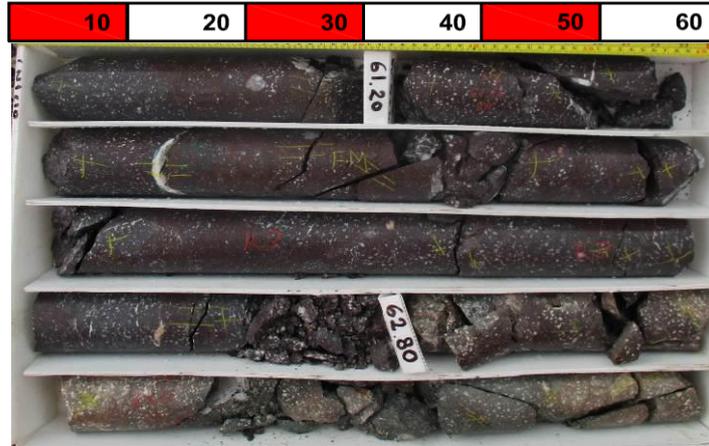
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 58.10m - 60.90m

Caja : 21 de 43



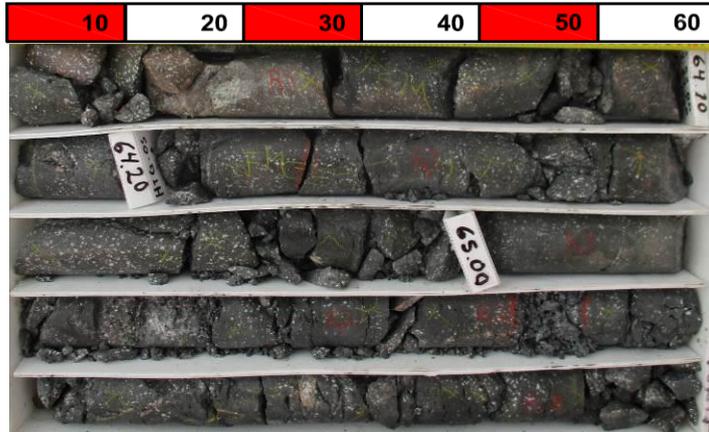
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 60.90m - 63.60m

Caja : 22 de 43



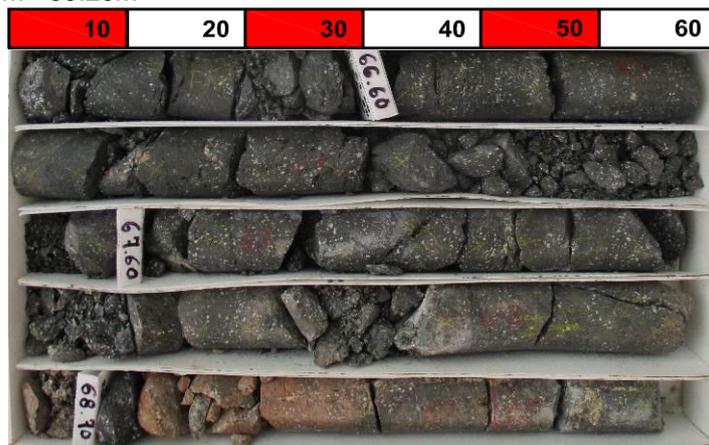
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 63.60m - 66.40m

Caja : 23 de 43



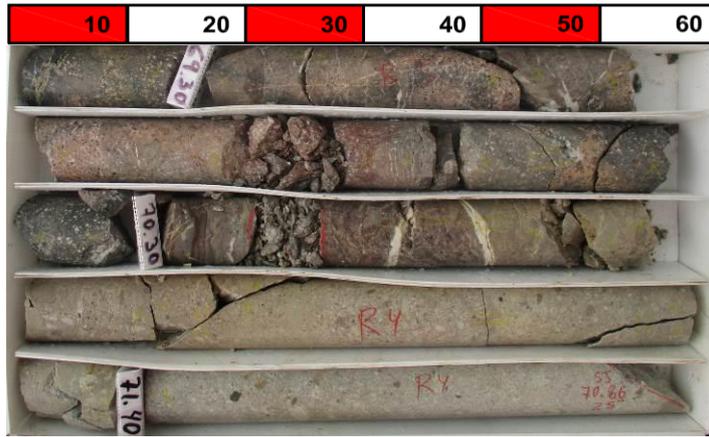
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 66.40m - 69.20m

Caja : 24 de 43



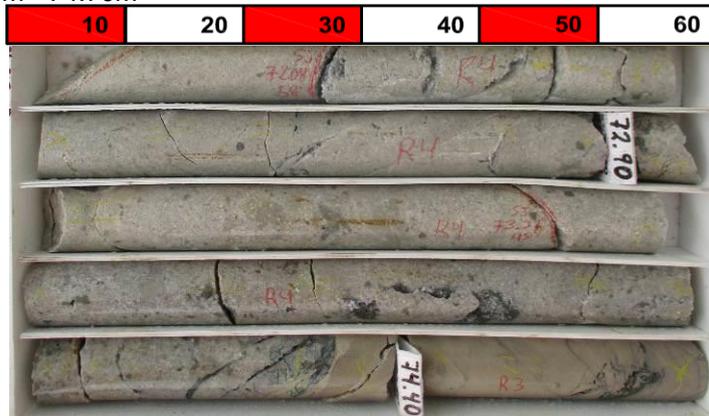
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 69.20m - 71.90m

Caja : 25 de 43



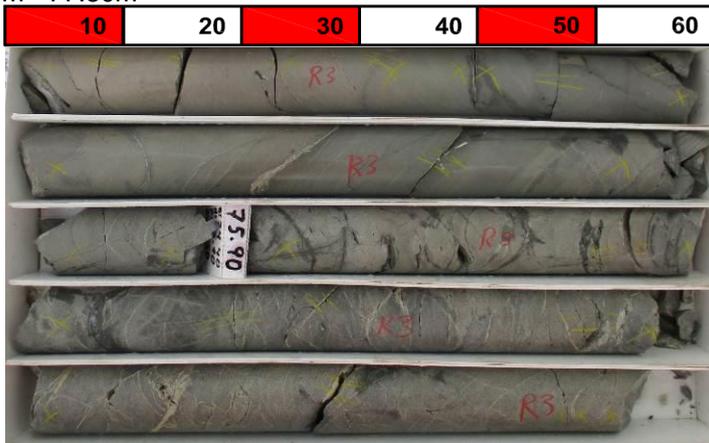
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 71.90m - 74.70m

Caja : 26 de 43



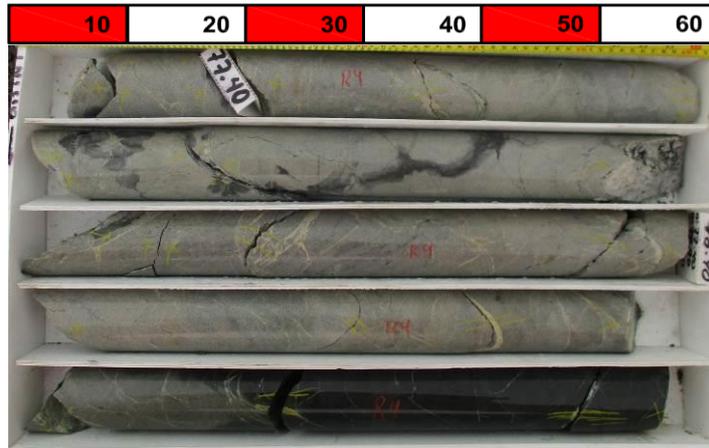
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 74.70m - 77.30m

Caja : 27 de 43



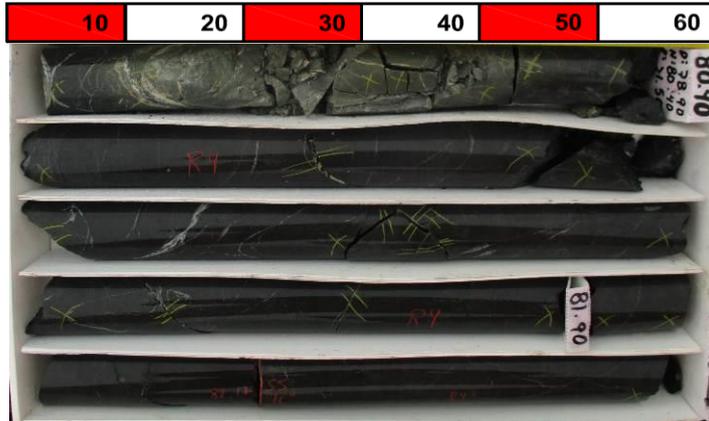
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 77.30m - 80.00m

Caja : 28 de 43



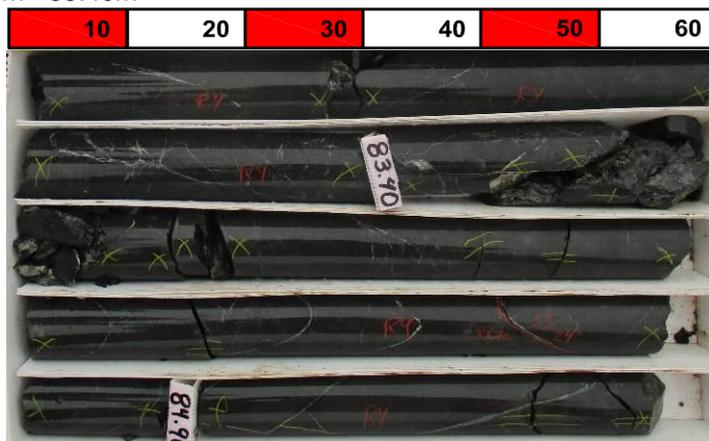
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 80.00m - 82.60m

Caja : 29 de 43



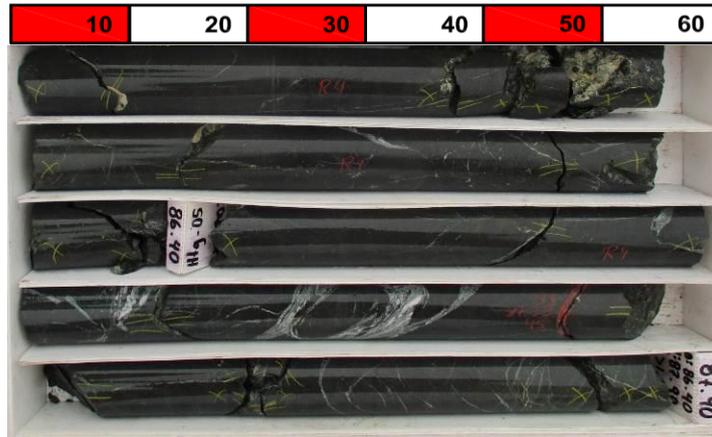
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 82.60m - 85.40m

Caja : 30 de 43



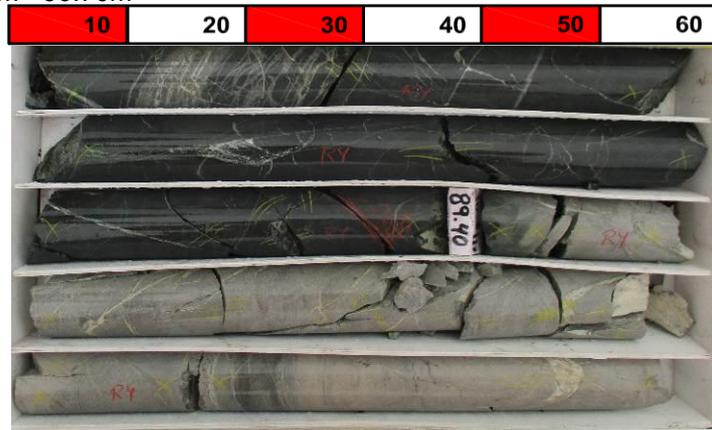
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 85.40m - 87.90m

Caja : 31 de 43



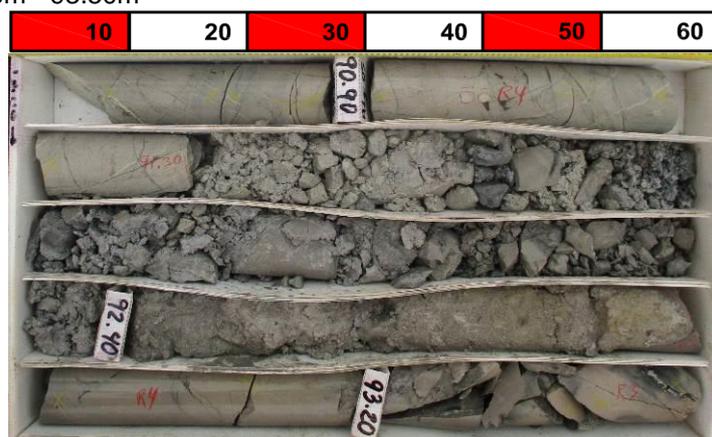
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 87.90m - 90.70m

Caja : 32 de 43



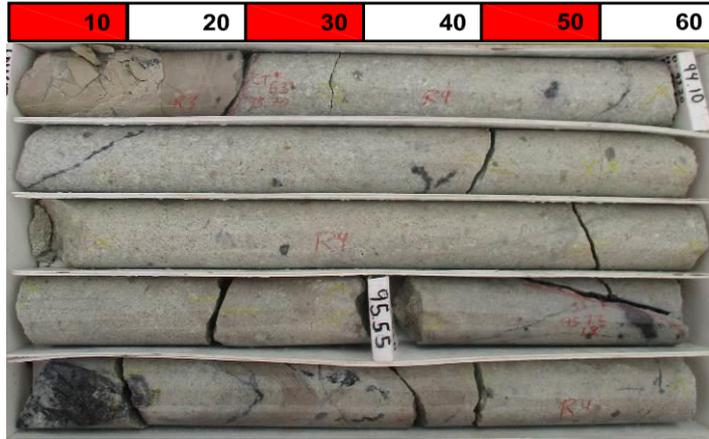
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 90.70m - 93.50m

Caja : 33 de 43



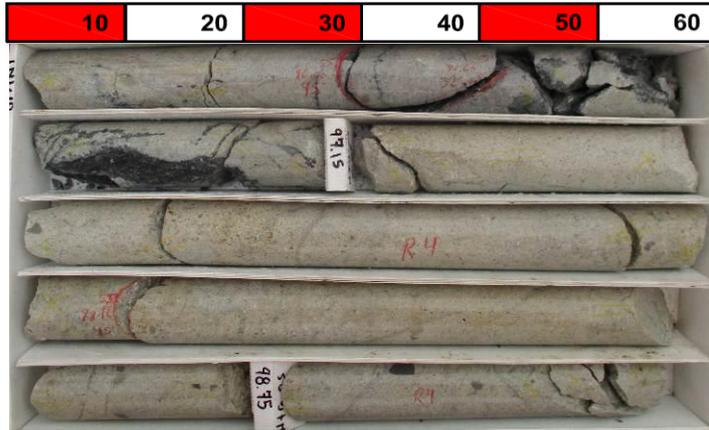
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 93.50m - 96.30m

Caja : 34 de 43



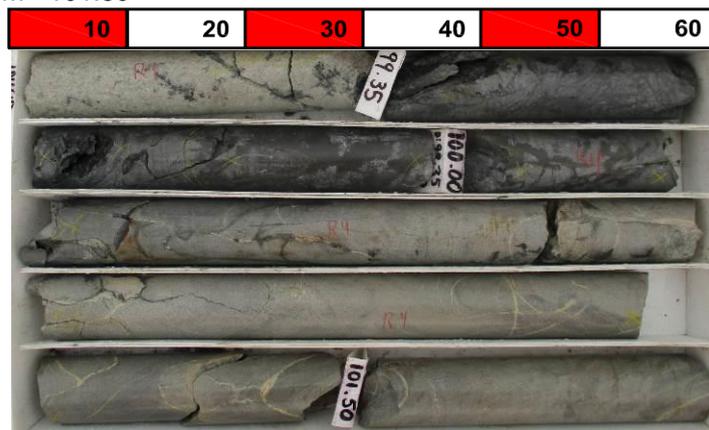
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 96.30m - 99.05m

Caja : 35 de 43



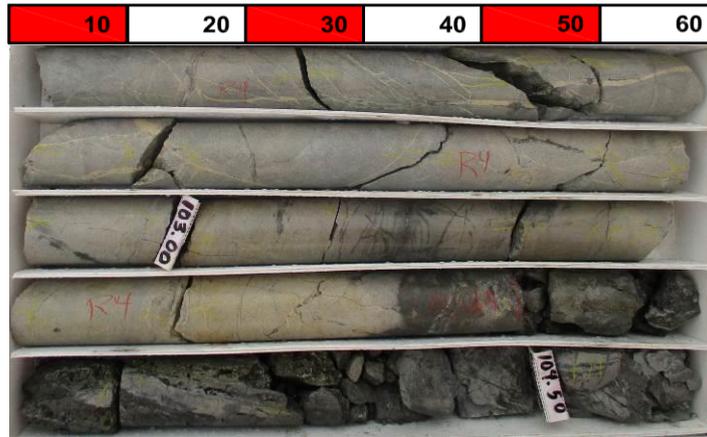
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 99.05m - 101.80

Caja : 36 de 43



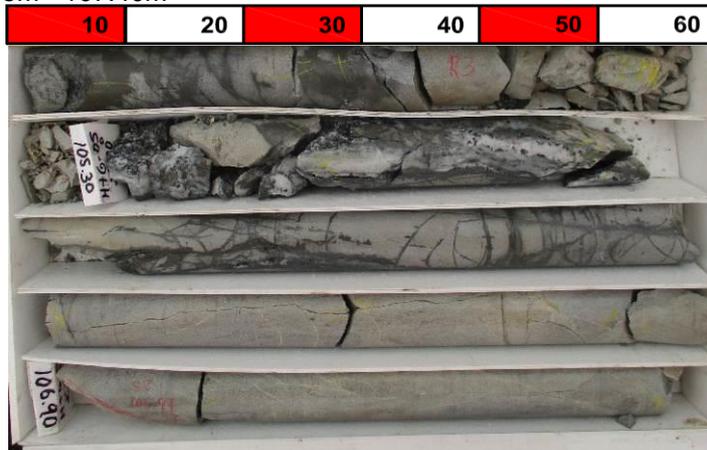
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 101.80m - 104.65m

Caja : 37 de 43



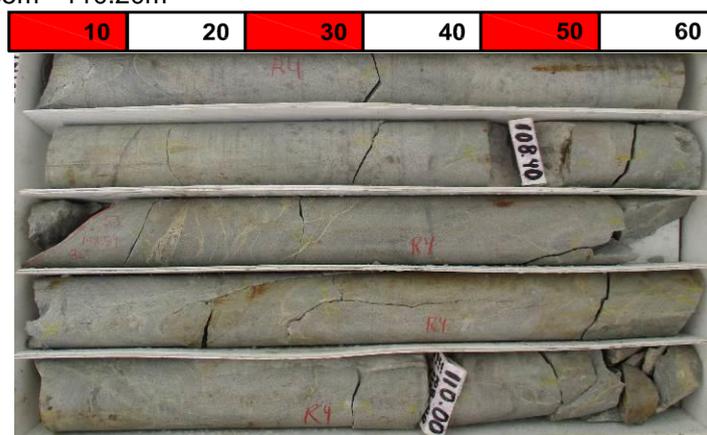
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 104.65m - 107.40m

Caja : 38 de 43



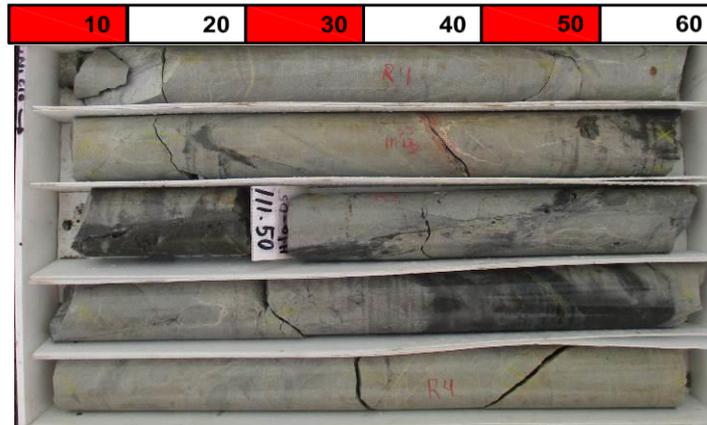
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 104.65m - 110.20m

Caja : 39 de 43



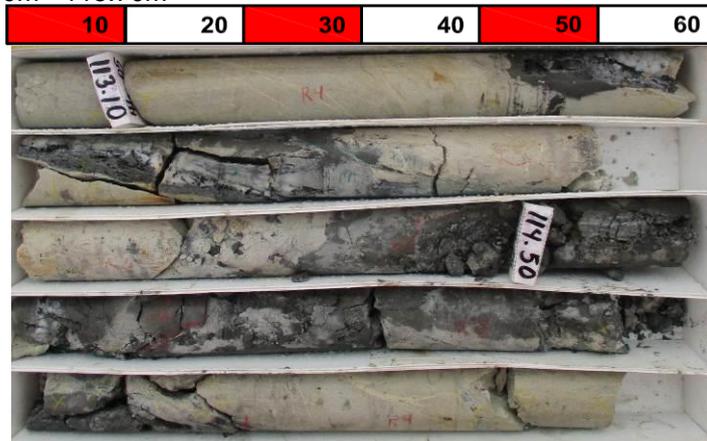
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 110.20m - 113.00m

Caja : 40 de 43



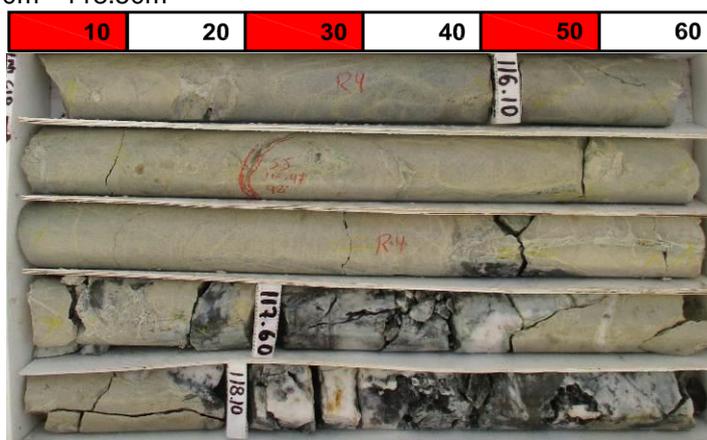
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 113.00m - 115.70m

Caja : 41 de 43



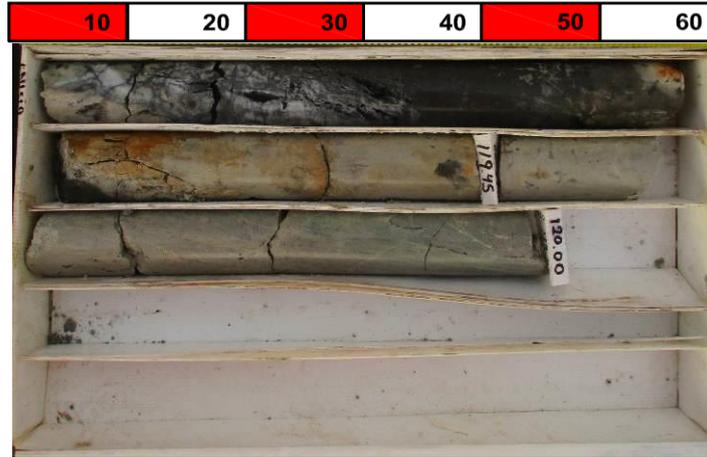
Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 115.70m - 118.50m

Caja : 42 de 43



Sondeo : HTg-05  
Profundidad : 118.50m - 120.00m

Caja : 43 de 43



Hoja 15 de 15

Sondaje Diamantino:  
HTg-05

Fecha  
Noviembre del 2020