

PROYECTO: "RESTAURACIÓN DEL CASTILLO DE SAN LORENZO, CORREGIMIENTO DE CHAGRES, DISTRITO DE COLÓN"

INFORME GEOTÉCNICO

ESTUDIO DE SUELOS EN EL CASTILLO DE SAN LORENZO

Contrato No. 01-20

Febrero de 2021



FIRMADO POR:

Karla Delgado

Gerente de Proyecto

FIRMADO POR:

Ing. George Berman

Ingeniero Geotécnico



1. OBJETIVO:	3
2. LOCALIZACIÓN.....	3
3. REFERENCIAS NORMATIVAS.....	4
4. MARCO GEOLÓGICO	5
5. SIMICIDAD	6
6. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.....	7
6.1 SONDEOS A ROTACIÓN.....	8
6.2 ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (S.P.T) Y TOMA DE MUESTRAS	9
7. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES.....	10
8. CONCLUSIONES	13
9. RECOMENDACIONES	15
10. ANEXOS	15



1. OBJETIVO:

La finalidad de este estudio es identificar y analizar las condiciones del subsuelo existente en el área, con el fin de obtener la información necesaria para las obras de emergencia del proyecto “RESTAURACIÓN DEL CASTILLO DE SAN LORENZO, CORREGIMIENTO DE CHAGRES, DISTRITO DE COLÓN”.

2. LOCALIZACIÓN

Las investigaciones geotécnicas se realizaron en el Fuerte San Lorenzo, Corregimiento de Cristóbal, Provincia de Colón, República de Panamá. En la Ilustración 1 se muestra la ubicación regional del sitio, mientras en la Ilustración 2, se observa la planta general del sitio y la localización de cada perforación.

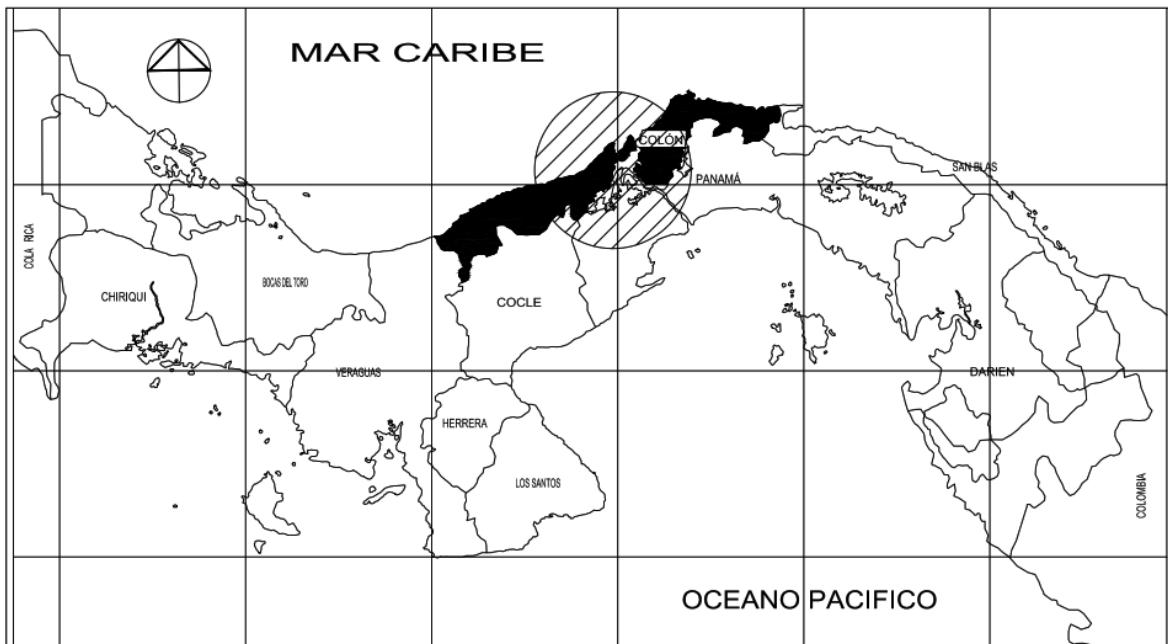


Ilustración 1 Ubicación Regional



Ilustración 2 Planta y Ubicación de Sondeos

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

La elaboración de este informe se ha basado en las siguientes normas mencionadas a continuación:

- Reglamento Estructural Panameño (REP-14).
- ASTM D-1586 Método estándar de ensayo de penetración estándar y muestreo de suelos con Cuchara partida.
- ASTM D-2216 Ensayo de Contenido de Humedad.
- ASTM D-4318 Ensayo de Límites de Atterberg.
- ASTM D-2938 y ASTM D-7012 Ensayo de Esfuerzo a compresión uniaxial y módulo elástico de muestra de núcleo de roca intacta.
- ASTM D-1140 Ensayo de determinación de la cantidad de material más fino que No. 200 ($75\mu\text{m}$).
- ASTM D-6913 Ensayo de Análisis Granulométrico.
- Resolución No. 172-11/DNPH De 27 De febrero De 2011 "Por La Cual Se Establecen Los Requisitos De Presentación De Proyectos Para Monumentos Nacionales y



Edificios En Conjuntos Monumentales Ante A Dirección Nacional De Patrimonio Histórico”, Ley N° 91 De Veintidós (22).

- Ley No. 21 del 3 de julio de 1997 Y Plan de uso público del Bosque y paisaje protegido de San Lorenzo.

4. MARCO GEOLÓGICO

Se ha consultado el Mapa Geológico de la República de Panamá, escala 1: 250,000 por la Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industria de Panamá. En la Ilustración 3 se muestra la geología de la zona de estudio. De acuerdo con dicha cartografía, el terreno de la zona pertenece a la formación Chagres (TPL – Ch), periodo terciario, arenisca maciza (de grano fino).

La formación Chagres (Tc), es una formación sedimentaria de deposición marina perteneciente al periodo terciario, su extensión es potente estimándose su espesor hasta los 300 metros, interdigita en zonas con la formación Gatún. La roca que compone esta formación es una arenisca muy masiva (los núcleos presentes en los sondeos no presentaban juntas en tramos de 80 – 150 cm), la granulometría de los granos es de arena fina 0.125 mm, su estratificación es moderadamente gruesa a gruesa.

A diferencia de la formación Gatún, no se observa presencia de tobas o conglomerados, contiene menor presencia de fósiles y menor aporte volcánico que la formación en comparación. Se observa presencia de limolita en algunas zonas, siendo la arenisca el material dominante.

Los materiales presentes en los taludes de la zona han sido afectados por la acción de intemperismo desde tiempos geológicos, donde la roca ha sufrido un proceso de meteorización gradual común en climas tropicales, los materiales más meteorizados en la superficie y la roca intacta a profundidad. La acción de procesos erosivos ha provocado deslizamientos en distintos periodos de tiempo, configurando los taludes con inclinaciones muy verticales, donde los materiales más suaves fueron socavados del talud dejando al descubierto los materiales más competentes, estos materiales más resistentes a los procesos erosivos ha permitido el desarrollo de una capa vegetal densa en la zona.

Período	Grupo	Color	Formación	Descripción
Terciario	----		Chagres	Arenisca maciza (de grano fino)

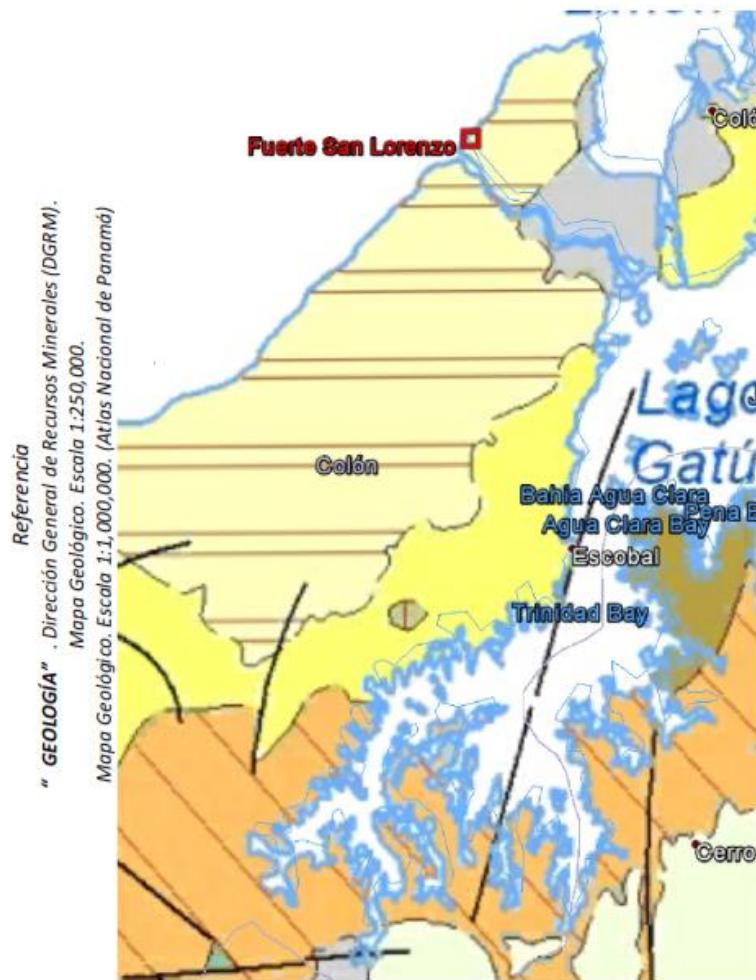


Ilustración 3 Geología del Sitio

5. SIMICIDAD

Análisis sísmico: la caracterización del Riesgo Sísmico en el sitio se obtuvo del reglamento Estructural de Panamá (REP-2014). La aceleración de terreno pico (PGA) en el sitio es de 0.42g.

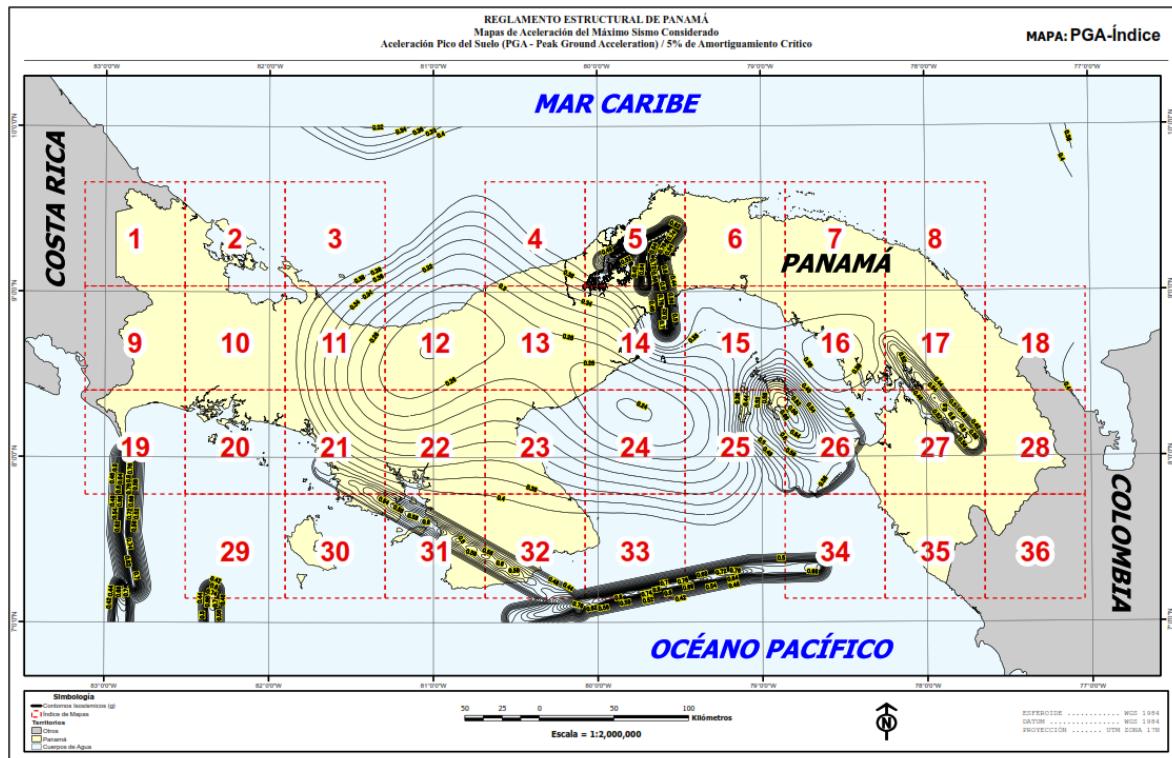


Ilustración 4 Mapas de aceleración del máximo sismo considerado. aceleración pico del suelo

6. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

La investigación geotécnica se realizó durante el mes de diciembre de 2020. La campaña de investigación consistió en la realización de cuatro (4) perforaciones mecánicas tipo rotatorias, que se extendieron hasta alcanzar materia firme o 1.50 metros en el estrato de roca sana. Se efectuaron pruebas de penetración estándar SPT cada 1.50 m. Adicional, se realizó descripción visual de los suelos encontrados por estratos, a las muestras de suelo y rocas se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

- Determinación humedad natural.
- Límites de consistencia (límite líquido y plástico).
- Granulometría por tamizado.
- Ensayo de compresión simple en roca.



Para la investigación se utilizó el equipo mecánico marca DEEP ROCK, el cual se caracteriza por ser una perforadora rotativa de menor tamaño que las convencionales, con dimensiones de: 9 pies de largo, 5 pies de ancho y de 1 eje muerto (2 ruedas).

En la tabla 1 se presenta el resumen de las actividades realizadas durante la investigación geotécnica.

Tabla 1 Resumen De las Pruebas de Laboratorio

Perforación	SPT	Contenido De Agua	Límite Plástico	Granulometría	Ensayo De Compresión Uniaxial
H1	2	1	1	1	1
H2	8	1	1	1	N/A
H3	N/A	N/A	N/A	N/A	1
H4	4	1	1	1	1
Total	14	3	3	3	3

*La perforación H2, no presenta roca a lo largo de su extracción motivo por el cual no aplica la realización del ensayo de compresión uniaxial. La perforación H3 es roca en su totalidad motivo por el cual no aplican las pruebas SPT, Contenido de Agua y límite de Atterberg.

Los ensayos se presentan en los Anexos de este informe. Los ensayos realizados se ejecutaron en cumplimiento a las normas específicas antes mencionadas.

6.1 SONDEOS A ROTACIÓN

Los sondeos mecánicos a rotación es una de las técnicas más utilizadas para la obtención de las características de los terrenos a profundidad, permitiendo la obtención de muestras alteradas e inalteradas, permitiendo la ejecución de una amplia variedad de ensayos, tanto "in situ" como en laboratorio. Para la campaña geotécnica del presente informe se utilizó un equipo mecánico DEEP ROCK, con diámetro de testigo entre 50 y 100 mm. En la imagen a continuación, se puede observar el mismo.



Ilustración 5 Equipo utilizado

6.2 ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (S.P.T) Y TOMA DE MUESTRAS

El SPT se realiza introduciendo dinámicamente en el suelo un toma-muestras, del tipo cuchara partida de 50 mm de diámetro externo y 35 mm de diámetro interno, mediante golpes de un martillo de 63.5 kilogramos de peso, con caída libre de 750 mm. El número de golpes del martillo necesarios para hincar los 0.30 m en un intervalo de 0.45 m. La prueba de penetración estándar (SPT), es de uso generalizado en nuestro medio, a menudo proporciona guías para cuantificar parámetros de resistencia y de rigidez de los suelos

investigados, correlaciones con diversos parámetros geotécnicos y caracterización de suelos.

En la siguiente imagen se pueden apreciar los trabajos de perforación en el Hoyo H-04.



Ilustración 6 PERFORACION HOYO H-04

7. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

Hoyo H-01

- Suelo residual. Limo arcilloso de consistencia rígida, con plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada, muestra húmeda, color marrón.
- 0.60 m. Suelo residual. Limo arcilloso. Color de agua marrón.
- 1.50 m. Transición de suelo residual a roca. Suelo saprolítico (limo arenoso) de consistencia dura, no plástico. Muestra húmeda, color crema.



- 2.10 m. No hubo recuperación. La muestra se lavó durante el proceso de perforación. El sedimento que retornó a la superficie consiste en limo arenoso, color de agua crema.
- 3.00 m. Formación Chagres (Tc). Arenisca fina. Roca moderadamente meteorizada muy suave RH: 0 o oc5. Roca moderadamente meteorizada (III). Roca fracturada, juntas abiertas con presencia de fuerte oxidación. Estratos gruesos. Granulometría de fragmentos de limo a arena fina (0.032-0.25 mm), color crema.
- 3.50 m. Formación Chagres (Tc). Arenisca fina. Roca suave. Roca sana (I). Masa rocosa masiva. Presencia de juntas onduladas rugosas espaciadas, juntas moderadamente abiertas-cerradas con presencia de ligeras películas de calcita. Estratificación gruesa. Granulometría de fragmentos de arena fina (0.125-0.25 mm). Reactiva al HCL (presencia de cemento calcáreo). Presencia de fósiles de foraminíferos, ligero aporte de ceniza volcánica. Color gris.

Hoyo H-02

- Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia firme. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
- 0.60 m. Relleno antrópico. Color de agua marrón.
- 1.50 m. Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia rígida. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
- 2.10 m. Relleno antrópico. Color de agua marrón.
- 3.00 m. Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia suave. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
- 3.60 m. Relleno antrópico. Color de agua marrón.
- 4.50 m. Suelo residual. Limo arcilloso con fragmentos de meteorización. Consistencia firme. Plasticidad baja. Color marrón.
- 5.10 m. Suelo residual. Arcilla limosa. Se infiltro el agua de la perforación (no retornó).
- 6.00 m. Suelo residual. Limo arcilloso con fragmentos de meteorización. Consistencia firme. Plasticidad baja. Color marrón.
- 6.60 m. Suelo residual. Arcilla limosa. Se infiltro el agua de la perforación (no retornó).
- 7.50 m. Suelo residual. Arcilla limosa. Consistencia firme. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
- 8.10 m. Suelo residual. Arcilla limosa. Se infiltro el agua de la perforación (no retornó).



- 9.00 m. Suelo residual. Arcilla limosa. Consistencia firme. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
- 9.60 m. Suelo residual. Arcilla limosa. Se infiltro el agua de la perforación (no retornó).
- 10.50 m. Suelo residual. Limo. Consistencia muy rígida. Plasticidad baja. Resistencia en estado seco baja. Contiene un pequeño porcentaje de arcilla. Color marrón.

Hoyo H-03:

- Formación Chagres (Tc). Arenisca fina. Roca suave. Rh: 1. Roca sana-ligeramente meteorizada (I-II). Masa rocosa masiva. Presencia de juntas onduladas rugosas espaciadas, juntas moderadamente abiertas con presencia de ligeras películas de calcita-oxidación. Estratificación moderadamente gruesa. Granulometría de fragmentos de arena fina (0.125-0.25 mm). Reactiva al HCL (presencia de cemento calcáreo). Presencia de fósiles de foraminíferos, ligero aporte de ceniza volcánica. Color gris/crema.

Hoyo H-04:

- Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia firme. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
- 0.60 m. Relleno antrópico. Color de agua marrón.
- 1.50 m. Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia suave. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
- 2.10 m. Relleno antrópico. Color de agua marrón.
- 3.00 m. Suelo residual. Limo arenoso. Consistencia firme. Plasticidad baja. Resistencia en estado seco baja. Color crema moteado de marrón.
- 3.60 m. Suelo residual. Limo arenoso. Color de agua crema.
- 4.50 m. Transición de suelo residual a roca. Limo arenoso (saprolítico). Consistencia dura. No plástico. Color crema.
- 5.10 m. Formación Chagres (Tc). Arenisca fina. Roca suave. Rh: 1. Roca sana-ligeramente meteorizada (I-II). Masa rocosa sólida. Presencia de juntas onduladas rugosas muy espaciadas, juntas cerradas con presencia de ligeras películas de calcita-oxidación. Estratificación gruesa. Granulometría de fragmentos de arena fina (0.125-0.25 mm). Reactiva al HCL (presencia de cemento calcáreo). Presencia de fósiles de foraminíferos, ligero aporte de ceniza volcánica. Color gris/crema.



8. CONCLUSIONES

A continuación, se presenta un resumen de los ensayos realizados.

Tabla 2 RESUMEN DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE DE ROCA

Perforación	Profundidad (m)	Descripción	Densidad kN/m ³	Esfuerzo de Compresión (Mpa)	Módulo de Young E 50% (Mpa)	RQD (%)
H1	4.3	Arenisca	20.2	2.27	500	100
H3	2.9	Arenisca	17.74	2.88	517	100
H4	7.5	Arenisca	17.46	2.08	256	100

Tabla 3 RESUMEN DE ENSAYOS DE LIMITES DE ATTERBERG

Perforación	Profundidad de Nivel freático (m)	Contenido de Humedad (%)	Límite Líquido LI (%)	Límite plástico LP (%)	Indicie de Plasticidad IP (%)
H1	0.80	32	44.9	31	14
H2	No encontrado	29	NP	NP	NP
H3	0.80	N/A	N/A	N/A	N/A
H4	0.50	59	57.8	36	22

Tabla 4 RESUMEN DE ENSAYOS SPT

Sondeo	Profundidad (m)		N (SPT)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-01	0.00	0.60	10	Suelo residual. Limo arcilloso. Consistencia rígida. OC 3. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Muestra húmeda. Color marrón.
	1.50	2.10	>50	Transición de suelo residual a roca. Suelo saprolítico (limo arenoso). Consistencia dura. Oc 5. No plástico. Muestra húmeda. Color crema.



Sondeo	Profundidad (m)		N (SPT)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
H-02	0.00	0.60	5	Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia firme. OC 2. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón
	1.50	2.10	13	Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia rígida. OC 4. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón
	3.00	3.60	4	Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia suave. OC 2. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón
	4.5	5.10	8	Suelo residual. Limo arcilloso con fragmentos de meteorización. Consistencia firme. OC: 3. Plasticidad baja. Color marrón.
	6.00	6.60	7	
	7.5	8.10	8	Suelo residual. Arcilla limosa. Consistencia firme. OC: 3. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
	9.00	9.60	8	
H-04	0.00	0.60	8	Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia firme. OC 3. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón.
	1.50	2.10	2	Relleno antrópico. Limo arcilloso. Consistencia suave. OC 2. Plasticidad media. Resistencia en estado seco moderada. Color marrón

Sondeo	Profundidad (m)		N (SPT)	Descripción Visual
	Desde	Hasta		
	10.50	11.10	24	Suelo residual. Limo. Consistencia muy rígida. OC: 4. Plasticidad baja. Resistencia en estado seco baja. Contiene un pequeño porcentaje de arcilla. Color marrón.
	3.00	3.60	8	Suelo residual. Limo arenoso. Consistencia firme. OC: 3. Plasticidad baja. Resistencia en estado seco baja. Color crema moteado de marrón.
	4.5	5.10	>50	Transición de suelo residual a roca. Limo arenoso (saprolítico). Consistencia dura. OC: 5. No plástico. Color crema.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una evaluación de la estabilidad del talud de la Ladera Sur, la cual permita determinar la obra de remediación necesaria para mantener la integridad del material ante la meteorización.
- El relleno debajo del muro del Través (H-02) tiene un número de golpes bajo ($N_{SPT} < 4$) debido a la suave consistencia y presenta grietas a $\sim 45^\circ$, lo que indica que se tiene una falla por capacidad de soporte. Por lo tanto, se recomienda un análisis que permita determinar la mejor intervención a utilizar. El relleno debajo del muro del Hornabeque (H-01) presenta un suelo más competente presentando ($N_{SPT} > 50$) a 1.5 m de profundidad.

10. ANEXOS