

3.3.3

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE ROCAS Y SEDIMENTOS

3.3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

Las rocas pueden ser clasificadas según su origen en: sedimentarias, metamórficas e ígneas, a su vez estas últimas se dividen en volcánicas o plutónicas. En el Cuadro 3.3.3-1 se resume dicha clasificación y se consigna información sobre algunas características índices (valores o rangos de valores obtenidos en laboratorio).

Asimismo, algunas propiedades de las rocas como dureza y resistencia, de importancia para la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas son descritas más adelante.

Cuadro 3.3.3-1 Clasificación de las rocas por su origen, variedades litológicas y características físico mecánicas

Tipo de roca		Litología	Peso específico (t/m³)	Tamaño de granos (mm)	Factor de esponjamiento (%)	Resistencia a la compresión simple (MPa)
Ígneas	Intrusivas	Diorita	2,65 – 2,85	1,5 – 3	1,50	170 – 300
		Gabro	2,85 – 3,2	2	1,60	260 – 350
		Granito	2,7	0,1 – 2	1,60	200 – 350
	Extrusivas	Andesita	2,7	0,1	1,60	300 – 400
		Basalto	2,8	0,1	1,50	250 – 400
		Riolita	2,7	0,1	1,50	50 – 120
		Traquita	2,7	0,1	1,50	330
Sedimentarias		Conglomerado	2,6	2	1,50	140
		Arenisca	2,5	0,1 – 1	1,50	160 – 255
		Lutita	2,7	< 0.004	1,35	70
		Caliza	2,6	1 – 2	1,55	120
		Dolomita	2,7	1 – 2	1,60	150
Metamórficas		Gneis	2,7	2	1,50	140 – 300
		Mármol	2,7	0,1 – 2	1,60	100 – 200
		Cuarcita	2,7	0,1 – 2	1,55	160 – 220
		Esquisto	2,7	0,1 – 1	1,60	60 – 400
		Serpentina	2,6	—	1,40	30 – 150
		Pizarra	2,7	0,1	1,50	150

3.3.3.1.1 DUREZA

Es la resistencia que ofrece la superficie de un cuerpo a la penetración de otro de mayor dureza. Para la clasificación de las rocas se utiliza el método de la indentación, que consiste en medir en el

laboratorio la profundidad de penetración de una punta con una determinada fuerza y en una superficie pulida.

Las rocas se clasifican según su dureza por medio de la escala de Mohs, tal como se presenta en el Cuadro 3.3.3-2, donde a su vez se establece una correlación entre la dureza y la resistencia a la compresión simple.

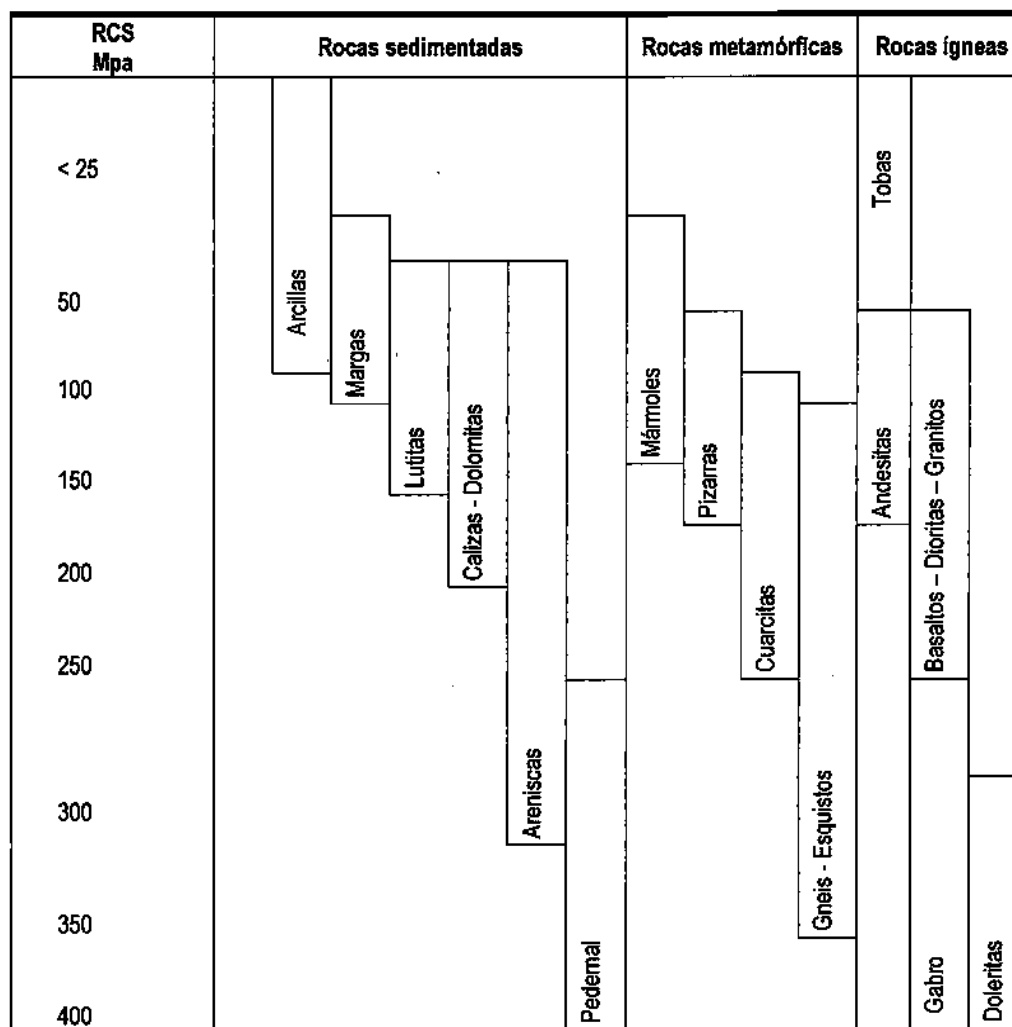
Cuadro 3.3.3-2 Escala de dureza de las rocas

Clasificación	Dureza mohs	Resistencia a la compresión simple (Mpa)
Muy dura	+ 7	+ 200
Dura	6 – 7	120 – 200
Medio dura	4,5 – 6	60 – 102
Medio blanda	3 – 4,5	30 – 60
Blanda	2 – 3	10 – 30
Muy blanda	1 – 2	- 10

3.3.3.1.2 RESISTENCIA

Es una propiedad mecánica por la cual las rocas se oponen a su destrucción por una carga exterior estática o dinámica. Esta resistencia depende fundamentalmente de la composición mineralógica de la roca y del tamaño de sus granos o cristales. A menudo la resistencia disminuye con el aumento del tamaño de los granos aunque también intervienen las fuerzas de cohesión intercrystalina, la porosidad y la anisotropía. En la Figura 3.3.3-1 se indican los intervalos frecuentes de resistencia a la compresión de los diversos tipos de roca.

Figura 3.3.3-1 Resistencia de los diferentes tipos de rocas a la compresión simple más frecuente



Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España (1994)

3.3.3.1.3 GRADOS DE ALTERACIÓN, DUREZA Y FRACTURAMIENTO

En los Cuadros 3.3.3-3, 3.3.3-4 y 3.3.3-5 se proporciona algunos criterios comparativos para estimar cada una de las propiedades de alteración, dureza y fracturamiento de las rocas.

Cuadro 3.3.3-3 Clasificación de grados de alteración de la roca

Clasificación	Alteración
Sana o fresca	No se observa ningún signo de alteración en el material rocoso, quizás ligera decoloración sobre las superficies de las principales discontinuidades.
Ligera	La decoloración indica alteración del material rocoso y la superficie de las discontinuidades. El material rocoso muy descolorido es más débil que en su condición sana.
Moderada	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. Aun se encuentra restos de roca fresca y/o decolorada, formando un esqueleto discontinuo.
Muy alterada	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. Aún se encuentra algunos núcleos de roca fresca y/o decolorada, formando un esqueleto discontinuo.
Completamente alterada	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura original del macizo es aún reconocible en gran parte.

Cuadro 3.3.3-4 Índice de dureza de la roca

Clasificación	Identificación
Muy dura	El martillo produce solamente descarillado de la muestra. Sonido metálico del golpe.
Dura	El espécimen es fracturado con muchos golpes del martillo
Medianamente dura	El espécimen requiere más de un golpe de martillo para ser fracturado.
Ligeramente suave	No se puede raspar o descarillar con un cuchillo de bolsillo. El espécimen puede ser fracturado con un solo golpe firme de martillo
Débil o suave	Se descarilla con dificultad con un cuchillo de bolsillo; indentado poco profundo con golpes firmes con la punta del martillo del geólogo.
Muy débil	Se descompone con golpes firmes con la punta del martillo de geólogo. Puede ser descarillado con un cuchillo de bolsillo.

Cuadro 3.3.3-5 Categorías de grado de fracturamiento de la roca

Clasificación	Fracturas F/m ²	Espaciamiento de fracturas (m)
Masiva	<2	> 2,00
Poco fracturada	2 – 5	0,60 – 2,00
Moderadamente	6 - 10	0,20 – 0,60
Muy fracturada	11 – 20	0,06 – 0,20
Fragmentada	> 20	< 0,06

3.3.3.2 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

La identificación del origen de los depósitos cuaternarios tiene especial relevancia en el proceso de los levantamientos geológicos de campo porque la mayor parte de obras civiles como carreteras, presas, canales, etc. así como los asentamientos humanos se fundan sobre los suelos. Su origen está relacionado a los procesos que acompañaron a la formación de uno u otro tipo de suelo, a los agentes que intervinieron en su transporte, condiciones de acumulación, adopción de su morfología y relieve.

En el Cuadro 3.3.3-8 se resumen los principales tipos genéticos identificados en el estudio.

3.3.3.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Para poder interpretar los resultados de los ensayos de laboratorio es conveniente tener presente las siguientes definiciones:

Clasificación de suelos SUCS

Es un sistema que agrupa a los suelos en tres grandes conjuntos que a su vez se dividen en quince grupos que se designan por letras. Estos reflejan la magnitud del límite líquido, la fracción textural predominante y el mejor o peor equilibrado de la curva granulométrica investigada. Los símbolos empleados por el SUCS para los diferentes tipos de suelos básicos provienen de las letras iniciales de sus nombres en inglés (p. ej., sand = s, clay = c, etc.).

En los Cuadros 3.3.3-6 y 3.3.3-7 se presenta información sobre los tamaños comúnmente admitidos en mecánica de suelos para las fracciones finas y gruesas.

Límites de Atterberg

Son los límites utilizados para caracterizar los suelos en relación con la plasticidad. De ellos, interesan los siguientes:

- **Límite plástico (LP):** Es el contenido de humedad en el cual el suelo cambia del estado semisólido al estado plástico.
- **Límite líquido (LL):** Es el contenido de humedad en el cual un suelo pasa del estado líquido a uno plástico.
- **Índice de plasticidad (IP):** Es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, e indica la magnitud del intervalo de humedad en el cual un suelo posee consistencia plástica.

Cuadro 3.3.3-6 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

DIVISION	MAYOR	GRUPO SIMBOLOS	DESCRIPCION
Suelos de Grano Grueso Más de la mitad del material es menor que el tamiz N° 200	Gravas (Más de la mitad de la tracción gruesa es mayor que el tamiz N°4)	GW	Grava bien graduada o mezcla de arena y grava. Poco o nada de finos.
			Grava mal graduada o mezcla de arena y grava. Poco o nada de finos.
		GM	d Grava con finos, grava mal graduada muy luminoso. Mezcla grava arena y arcilla
			u
	Arenas (Más de la mitad de la tracción gruesa es menor que el tamiz N°4)	Gravas Con Finos (Apreciable cantidad de finos)	GC Mezcla bien graduada de grava, arena y arcilla. Excelente aglutinante
			SW Arena bien graduada y arena gravillosa, Poco o nada de finos.
		Arenas Limpia (poca o nada de finos)	SP Arena mal graduada. Arena gravillosa, Poco o nada de finos
			SM
		Arenas Con Finos (Apreciable cantidad de finos)	d Arena con finos, Arena muy limosa. Mal graduada mezcla arena y arcilla
			u
Suelos de Grano Fino Más de la mitad del material es mayor que el tamiz N° 200	Limo y Arcilla (Límite líquido menor de 50)	ML	Mezcla bien graduada arena y arcilla. Excelente aglutinante
			CL Limos inorgánicos y arena muy fina Polvo roca. Arena fina con ligera plasticidad.
			OL Arcilla inorgánica de baja o media plasticidad Arcilla arenosa. Arcilla gravosa Arcilla limosa, Arcilla floja.
	Limo y Arcilla (Límite líquido mayor de 50)	MH	Limos orgánicos, Limos arcilla orgánica de baja plasticidad
			CH Limos inorgánicos, arena fina micáceo, o diatomáceo o suelo limoso, suelo elástico.
			OH Arcilla inorgánica de alta plasticidad. Arcilla grasas.
			Arcilla orgánica de medio o alta plasticidad.
	Sección altamente orgánico	Pt	Turba (pect) y otros materiales altamente orgánicos.

Nota:

- Las divisiones de los grupos GM y SM en las subdivisiones "d" y "u" es solamente para caminos y aeródromos. Las subdivisiones estan basadas en los límites de Atterberg.
- Los suelos que poseen características de dos grupos es designada por la combinación de símbolos de grupos. Por ejemplo GW-GC, mezcla de arena y grava bien graduada con arcilla como aglutinante.

Cuadro 3.3.3-7 Algunas características granulométricas de suelos y fragmentos rocosos que permiten su identificación en campo

Divisiones	Sub división	Grupo	Símbolo	Tamaño de la partícula (mm)	Determinación en campo visual o el tacto	Separado por tamices astm	Comparación
FINOS	Muy orgánico	Turba	Pt	---	Visual, colores oscuros, fétidos	---	
	Finos	Orgánicos	O	Muy finos	Visual, colores oscuros	< N° 200	
		Limos	M	0.074 – 0.004	Distinguible con lupa, ligeramente áspero al tacto, ligeramente cohesivo		Polvo de cemento
		Arcilla	C	< 0.004	Cohesiva a muy cohesiva, plástica en estado húmedo		
	Gruesos	Arena	S	4.75 – 2.00	Visible, tamaño mensurable	N° 4 a N° 10	Grano de arveja
				2.00 – 0.425	Visible, tamaño mensurable	N° 10 a N° 40	Grano de quinua
				0.425 – 0.74	Visible, áspero al tacto	N° 40 a N° 200	Polvo
		Grava	G	75.00 – 19.05	Mensurable	3" a ¾"	Uva – manzana
				19.05 – 4.75	Mensurable	¾" a N° 4	Grano de maíz
	FRAGMENTOS DE ROCA	Cantos	No tienen grupo ni símbolo definido en la clasificación unificada de suelos. Se asume como fragmentos sobredimensionados		7.6 cm (3") y < 30 cm	Si el contenido es mayor al 5% del volumen de la masa, se debe describir sobre sus formas, dimensiones, constitución, etc., y complementar los resultados de laboratorio	Tamaños mayores a 3". Su granulometría queda fuera del SUCS. Su evaluación visual es importante.
Bolos		30 cm y < 1 m					
Bloques		> 1 m			Sandía		

Cuadro 3.3.3-8 Relación de los principales tipos genéticos de depósitos cuaternarios

No.	Denominación genética	Índice	Principales agentes formadores	Características lito-estratigráficas
1	Depósitos aluviales	Q-al	• Corrientes de agua de principales ríos	Fragmentos rocosos heterométricos (arenas, cantos, bolos, etc.) transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas.
2	Depósitos proluviales	Q-pl	• Corrientes temporales de aguas de lluvia	Fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.), con relleno limo arenoso-arcilloso depositado en el fondo de valles tributarios y conos deyección en la confluencia con el río. Material arrastrado y lavado por la lluvia.
3	Depósitos deluviales	Q-dl	• Erosión • Gravedad • Lluvias • Viento	Capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, que se depositan y cubren las laderas de cerros, con taludes suaves a moderados.
4	Depósitos coluviales	Q-cl	• Intemperismo • Gravedad • Movimientos telúricos • Toppling	Bloques rocosos angulosos heterométricos, acumulados al pie de taludes escarpados en forma de conos. Los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, son sueltos sin cohesión. Taludes de reposo poco estables.
5	Depósitos lacustrinos	Q-la	• Represamientos naturales • Decantación de finos en aguas tranquilas	Sedimentos arcillo-limosos muy finos, a veces con intercalaciones de lentes areno-gravosos. Estratificados en capas muy finas denominadas "varves". También hay intercalaciones con lentes orgánicos.
6	Depósito glaciar	Q-gl	• Deshielos • Cambios climáticos	Morrenas de fondo, laterales y frontales, constituidas por bloques rocosos heterométricos, subredondeados, rellenos por arcilla-limosa-arenosa.
7	Depósito fluvio-glaciar	Q-fgl	• Ríos glaciáricos	Depósitos granulares: cantos y gravas redondeadas acumuladas en grandes llanos o deltas fluvio-glaciáricos.
8	Depósitos edáficos	Q-eo	• Viento	Depósitos detríticos formados por acumulaciones de arena en los desiertos y playas en forma de dunas, barjanas, etc.
9	Depósitos de deslizamiento	Q-ds	• Reptación de suelos • Saturación del suelo • Movimientos telúricos	Cualquier tipo de suelo cuaternario que ha sufrido movimiento o proceso de reajuste lento o escurremiento rápido, bajo el influjo de la fuerza de la presión de carga por hidratación.
10	Depósitos biogénicos	Q-bi	• El agua • El clima	Acumulaciones de restos orgánicos como conchuelas (coquina) y turberas (champa) que cubren, por ejemplo, lagos colmatados.
11	Depósitos quimicogénicos	Q-qm	• Acción química bajo influencia del agua	Acumulación de sales sulfatadas, cloradas y ácidos carbónicos silicatados, producto de procesos de solución y sedimentación bajo la influencia de la evaporación o enfriamiento. Depositados en deltas, playas

No.	Denominación genética	Índice	Principales agentes formadores	Características lito-estratigráficas
			• El clima	y lagos.
12	Depósitos marinos	Q-ma	• Aportes aluviales • Acción de las olas • Variaciones del nivel del mar	Depósitos de cantos rodados y gravas, con relleno areno limoso, formando terrazas o tablazos.
13	Depósitos antropógenos	Q-an	• El hombre	Depósitos generados por el hombre sin intervención de procesos de transformación industrial: ruinas, desechos, coprolitos, etc.
14	Depósitos tecnógenos	Q-te	• El hombre	Depósitos generados por el hombre mediante procesos de transformación industrial: depósitos de relaves, depósitos de desecho industrial, escorias, canchas de minerales, etc.

3.3.3.2 GRADO DE PLASTICIDAD

Los suelos que servirán de base a las obras se caracterizan por ser predominantemente limo arenosos y de plasticidad moderada. En estado seco los suelos son duros, difíciles de penetrar con la uña, pero en estado húmedo son blandos.

Cuadro 3.3.3-9 Términos para la descripción del grado de plasticidad de suelos finos y suelos con fracciones gruesas

Término	Índice de plasticidad (%)	Tipos de suelo
No plásticos	Debajo de 1	Limos arenosos, gravosos (SM)
Ligeramente plásticos	1 – 7	Limos de baja plasticidad (ML)
Moderadamente plásticos	7 – 17	Limos y arcillas moderadamente plásticos (ML, CL, OL)
Altamente plásticos	17 – 35	Limos y arcillas orgánicas e inorgánicas
Extremadamente plásticos	Sobre 35	De alta plasticidad (MH, CH, OH)

3.3.3.2.3 CONSISTENCIA DE LOS SUELOS

Cuadro 3.3.3-10 Pruebas de campo para determinar la consistencia de los suelos arcillosos e inferir algunos parámetros

Término	Ensayo de campo	No. golpes spt	Densidad húmeda (gr/cm ³)	Resist. Al corte (kg/cm ²)
Muy blando	La masa se escurre entre los dedos	< 2	1,44 – 1,60	0 – 0,25
Suave	Puede ser moldeada con ligera presión de los dedos	2 – 4	1,60 – 1,76	0,25 – 0,5
Firme	Puede ser moldeada con fuerte presión de los dedos	4 – 8	1,76 – 1,92	0,5 – 1,0
Tieso	No puede ser moldeado con los dedos, puede ser punzado con el dedo pulgar	8 – 15	1,92 – 2,08	1,0 – 2,0
Muy tieso	Puede ser penetrado con la uña del dedo pulgar	15 – 30	2,08 – 2,4	2,0 – 4,0
Duro	Difícil de penetrar	> 50	> 2,00	> 4,0

3.3.3.2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN SU ÍNDICE DE PERMEABILIDAD

Los suelos glaciales se encuentran generalmente en el rango de impermeables a moderadamente permeables, mientras que los suelos de origen aluvial y coluvial son altamente permeables. En el

Cuadro 3.3.3-11 se presenta ciertos rangos de permeabilidad de los suelos.

Cuadro 3.3.3-11 Clasificación de los suelos según su índice de permeabilidad

Grado de permeabilidad	Coefficiente de permeabilidad $k = \text{cm/s}$	Tipo de suelo
Elevada	Superior a 10^{-1}	Suelos gravosos, limpios sin relleno
Media	$10^{-1} - 10^{-3}$	Arenas muy finas
Baja	$10^{-3} - 10^{-5}$	Limos orgánicos, mezcla de arena y arcilla
Muy baja	$10^{-5} - 10^{-7}$	Till glacial, arcillas estratificadas
Impermeable	Menor a 10^{-7}	Arcillas pesadas, debajo del horizonte descomprimido

En el Cuadro 3.3.3-12 se resume algunas de las propiedades de suelos más importantes para la ingeniería

Cuadro 3.3.3-12 Resumen de propiedades de suelos más importantes para la ingeniería

Propiedad	Grava y arena	Limos	Arcilla	Orgánicos
Propiedades hidráulicas				
Permeabilidad	Muy alta a alta	Bajo	Muy bajo a impermeable	Muy alto a muy bajo
Capilaridad	Despreciable	Alta	Muy alta	Baja a alta
Susceptibilidad de congelamiento	Nula a baja	Alta	Alta	Baja a alta
Susceptibilidad de licuefacción	Nula a alta en arenas finas	Alta	Ninguna	Alta
Esfuerzo de ruptura				
Esfuerzos relativos	Alto a moderado	Moderado a bajo	Alto a muy bajo	Muy bajo
Sensibilidad	Ninguna	Ninguna	Baja a muy alta	Como para arcilla
Deformabilidad				
Expansión (con carga moderada)	Baja a moderada	Moderada	Moderada a alta	Muy alta
Retardo de la deformación	Ninguna	Ligera	Grande	Ninguna a grande
Compactibilidad	Baja	Muy difícil	Moderada a alta, requiere control de humedad	No aplicable
Expansión por humedad	Ninguna	Ninguna	Moderada a muy alta	Ligera
Encogimiento por secado	Ninguno	Ligero	Moderado a muy alto	Alto a muy alto

3.3.3.3 DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS GEOTÉCNICAS

Muestra GE-01A

La muestra se recolectó en una planicie costera y corresponde a un espesor de 45 cm. Es suelo ML formado por limo inorgánico con arena, de plasticidad baja y compresibilidad y expansión débiles a medianas, siendo su drenaje regular a pobre. Cuando está compactado es impermeable, y si además se halla saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es considerada regular.

Muestra GE-01B

Se tomó en la calicata anterior y su espesor de muestreo fue de 33 cm. Es suelo clasificado como ML, por lo que sus características geotécnicas son similares a las de la muestra anterior.

Muestra GE-02A

Fue recolectada en una planicie de la costa y corresponde a un espesor de 40 cm. Su clasificación como suelo ML señala que presenta las mismas características geotécnicas que las dos muestras anteriores.

Muestra GE-02B

Se tomó debajo de la muestra anterior y su espesor de muestreo fue 38 cm. Es suelo SM formado por arena limosa de poca o nula plasticidad y compresibilidad y expansión muy débiles, siendo su drenaje regular a pobre. Cuando se halla compactado es suelo semipermeable a impermeable, y si además se halla saturado presenta buena resistencia a la cizalladura y baja compresibilidad. Su facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-03

Se tomó en un bofedal y corresponde a un espesor de 62 cm. Su clasificación como suelo OL señala que está formado por limo inorgánico y arena, de plasticidad baja. Presenta compresibilidad y expansión medianas a altas y drenaje pobre. Es semipermeable a impermeable cuando se halla compactado, y si además se encuentra saturado se caracteriza por resistencia baja a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es calificada como regular.

Muestra GE-04

Se tomó en una ladera de desarrollo glacial, siendo el espesor muestreado 42 cm. Es suelo CL formado por arcillas de baja plasticidad con arena, que presentan compresibilidad y expansión medianas. Cuando están compactados son suelos impermeables y cuando se hallan saturados presentan resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es considerada entre buena y regular.

Muestra GE-05

Se recolectó en una ladera de tobas microconglomerádicas habiéndose muestreado 45 cm de espesor. Corresponde a suelo CH, lo que indica que está formado por arcilla inorgánica de plasticidad alta, que presenta compresibilidad y expansión altas. Cuando está compactado es suelo impermeable y si se halla también saturado presenta resistencia baja a la cizalladura y compresibilidad alta. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-07

Se tomó en una ladera coluvial con sustrato de bechas volcánicas y su espesor de muestreo fue de 1,60 m. Corresponde a suelo ML y por tanto está formado por limo arenoso con grava. Se caracteriza por plasticidad baja y compresibilidad y expansión débiles a medianas, siendo su drenaje regular a pobre. Cuando está compactado es suelo semipermeable a impermeable, y si se halla también saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-08

Se recogió en sustrato volcánico oxidado. El espesor muestreado fue de 24 cm, y corresponde a suelo OL, lo que indica que está formado por limo orgánico gravoso con arena, de baja plasticidad. Son suelos caracterizados por compresibilidad y expansión medianas a altas, siendo semipermeables a impermeables cuando se encuentran compactados; si además se encuentra saturado se caracteriza por resistencia baja a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-09A

Se recolectó en una ladera de sustrato tobáceo y el espesor muestreado fue 47 cm. Su clasificación como suelo OL indica que está formado por limo orgánico con arena. Sus características geotécnicas son similares a las de la muestra anterior.

Muestra GE-09B

Se recolectó en la misma calicata que la muestra anterior y su espesor de muestreo fue 33 cm. Su clasificación como suelo ML señala que está formado por limo con arena, con plasticidad baja y compresibilidad y expansión débiles a medianas, siendo su drenaje regular a pobre. Cuando está compactado es suelo semipermeable a impermeable, y si además se encuentra saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-12

Se recogió en una ladera coluvial de suave pendiente y sustrato volcánico, siendo el espesor muestreado 85 cm. Su caracterización como suelo CL señala que está formado por arcilla arenosa de baja plasticidad, que se caracteriza por compresibilidad y expansión medianas. Cuando está compactado constituye un suelo impermeable, y presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana si se halla saturado. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-13

Se recolectó en un territorio ondulado de origen volcánico y el espesor de muestreo es 25 cm. Su clasificación como suelo CL indica que está formado por arcilla de baja plasticidad con arena. Sus características geotécnicas son similares a las de la muestra anterior.

Muestra GE-15A

Se obtuvo en una ladera coluvial cuyo sustrato está formado por rocas intrusivas graníticas; el espesor muestreado fue 45 cm. Su clasificación como suelo CL indica que está formado por arcilla de baja plasticidad con arena. Por ello, sus características geotécnicas son similares a las de las dos muestras anteriores.

Muestra GE-15B

Se recogió en la misma calicata que la muestra anterior y corresponde a los 63 cm inferiores de ella. Es suelo ML y por tanto está formado por limos inorgánicos con arena, de plasticidad baja y compresibilidad y expansión débiles a medianas, siendo su drenaje regular a pobre. Cuando está compactado se caracteriza por ser semipermeable a impermeable, y si además se encuentra saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-16A

Se recolectó en una ladera de substrato rocoso intrusivo, con espesor de 75 cm. Su clasificación como suelo OL indica que está formado por limo orgánico arenoso, que se caracteriza por su plasticidad baja y compresibilidad y expansión medianas a altas, con un drenaje pobre. Cuando se halla compactado es suelo semipermeable a impermeable, y si además se encuentra saturado se caracteriza por su resistencia baja a la cizalladura y compresibilidad media. Es suelo con facilidad regular de tratamiento en obra.

Muestra GE-16B

Se recogió en un nivel más bajo que la muestra anterior y tiene 80 cm de espesor. Su clasificación como suelo ML indica que consiste de limo inorgánico arenoso, que se caracteriza por su plasticidad y compresibilidad y expansión débiles a medianas, presentando un drenaje regular a pobre. Cuando está compactado es semipermeable a impermeable y si se halla saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-19

La muestra se tomó en una ladera suave con bofedales cercanos y un substrato volcánico, siendo su espesor muestreado 64 cm. Su clasificación como suelo ML indica que está formado por limo con arena. Sus características geotécnicas son iguales a las de la muestra anterior.

Muestra GE-20

La muestra se tomó en una ladera de rocas volcánicas alteradas y tiene un espesor muestreado de 47 cm. Es suelo ML, por tanto está formado por limos con arena. Sus características geotécnicas son iguales a las de las dos muestras anteriores.

Muestra GE-22

El muestreo se realizó en una ladera suave de origen coluvio-aluvial, y el espesor de la muestra fue 30 cm. Su clasificación como suelo OL indica que está formado por limo inorgánico con grava, que se caracteriza por plasticidad baja, expansión media a alta y drenaje pobre. Cuando se halla compactado es semipermeable a impermeable y si además se halla saturado presenta resistencia baja a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-23.

Se recolectó en una ladera de rocas intrusivas alteradas (granito rosado), con un espesor muestreado de 1,25 m. Es suelo CL formado por arcilla de baja plasticidad con arena que presenta una compresibilidad y expansión medianas. Cuando está compactado es impermeable, y si además se halla saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es baja.

Muestra GE-24

La muestra se tomó en una terraza aluvial y el espesor de muestreo fue 1 m. Su clasificación como suelo CL señala que consiste de arcillas de baja plasticidad con arena. Sus características geotécnicas son similares a las de la muestra anterior.

Muestra GE-25

Se recolectó en medio geológico de rocas volcánicas, siendo el espesor muestreado de 1,25 m. Su identificación como suelo CL y sus características granulométricas indican que está formado por arcilla de baja plasticidad con grava. Sus características geotécnicas son las mismas que las de las muestras anteriores.

Muestra GE-26

Se recogió en una ladera suave con substrato intrusivo granodiorítico, en un espesor de 1,20 m. Su clasificación como suelo CL señala que está formado por arcilla de plasticidad baja. Sus características geotécnicas son similares a las de las tres muestras anteriores.

Muestra GE-28

Se recogió en la cima de una colina conformada por tobas conglomerádicas en un espesor de 1,15 m. Su clasificación como suelo ML indica que está formado por limos con arena y está caracterizado por plasticidad baja y compresibilidad y expansión débiles a medianas, con drenaje regular a pobre. Cuando está compactado es semipermeable a impermeable, y si además se halla saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-29A

Se tomó en una ladera de modelado glacial y substrato volcánico brechado y piritizado; la muestra corresponde al horizonte más cercano a la superficie y su espesor es 37 cm. Es suelo OL y por tanto está formado por limo orgánico arenoso de plasticidad baja; presenta compresibilidad y expansión medianas a altas, con un drenaje pobre. Si está compactado es semipermeable, y si adicionalmente se encuentra saturado se caracteriza por su resistencia baja a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-29B

Se recogió debajo de la muestra anterior y su espesor fue 70 cm. Su identificación como suelo CL señala que se encuentra constituido por arcilla de plasticidad baja con arena, de compresibilidad y expansión medianas, siendo prácticamente impermeable. Cuando está compactado es impermeable y si además se halla saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra varía de bueno a regular.

Muestra GE-30

Es una muestra recolectada en una ladera de substrato volcánico con espesor muestreado de 1,30 m. Es suelo ML que se encuentra constituido por limo arenoso con grava. Se caracteriza por plasticidad baja y compresibilidad y expansión débiles a medianas, siendo su drenaje regular a pobre. Si se halla compactado es semipermeable a impermeable, y si adicionalmente se encuentra saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-31A

Se recolectó en una ladera con sustrato de pizarras, teniendo el horizonte superficial muestreado 40 cm de espesor. Su identificación como suelo CL indica que se halla constituido por arcilla de baja plasticidad con arena, que se caracteriza por compresibilidad y expansión medianas, siendo prácticamente impermeable. Si está compactado es impermeable, y si se halla saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra varía de buena a regular.

Muestra GE-31B

Fue obtenida en la misma calicata que la anterior, en un nivel más bajo y corresponde a los 25 cm inferiores. Es también suelo CL constituido por arcilla de baja plasticidad con arena; por ello sus características geotécnicas son similares a las de la muestra anterior.

Muestra GE-32

Se recolectó en una ladera de mediana pendiente con sustrato pizarroso; el espesor muestreado fue 60 cm. Su clasificación como suelo OL indica que se halla formado por limo orgánico con arena, que se caracteriza por plasticidad baja. Es suelo con compresibilidad y expansión medianas a altas, con drenaje pobre. Cuando está compactado es semipermeable a impermeable; si adicionalmente se halla saturado, se caracteriza por resistencia baja a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-33A

Se recogió en una ladera de sustrato pizarroso, correspondiendo al nivel superior de la calicata y con espesor de 26 cm. Su identificación como suelo OL señala que se encuentra constituido por limo orgánico arenoso con grava, por lo que sus características geotécnicas son similares a las de la muestra anterior.

Muestra GE-33B

Corresponde al nivel inmediatamente inferior de la calicata, con un espesor de 48 cm. Es suelo SM formado por arena limosa con grava, y su límite líquido de 52,2 lo caracteriza como suelo de compresibilidad y expansión débiles a medianas y con drenaje pobre a prácticamente impermeable. Cuando está compactado es suelo semipermeable a impermeable; si además se halla saturado presenta buena resistencia a la cizalla y compresibilidad baja. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-34

Se tomó en una ladera de pendiente muy suave, de sustrato pizarroso e intrusivo hipabisal, siendo el espesor de muestreo 62 cm. Su clasificación como suelo OL indica que se halla formado por limo orgánico gravoso con arena, caracterizado por plasticidad baja. Presenta además compresibilidad y expansión medianas a altas y drenaje pobre; cuando está compactado es semipermeable a impermeable y si además se halla saturado, se caracteriza por resistencia baja a la cizalla y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-35

Se recolectó en una ladera suave de sustrato andesítico, con espesor muestreado de 32 cm. Su clasificación como suelo GM indica que está conformado por grava limosa con arena, con compresibilidad y expansión débiles y drenaje que varía de pobre a prácticamente impermeable. Si está compactado es semipermeable a impermeable; si además se encuentra saturado presenta buena

resistencia a la cizalladura y compresibilidad despreciable. La facilidad de tratamiento en obra es buena.

Muestra GE-36

Se recolectó en una ladera coluvial de fuerte pendiente y substrato intrusivo diorítico, en un espesor de 78 cm. Es suelo SM y se encuentra constituido por arena limosa con grava; tiene límite líquido de 31,9, que permite establecer que la compresibilidad y la expansión varían de débiles a medianas, con drenaje pobre a prácticamente impermeable. Cuando está compactado es semipermeable a impermeable, si además se halla saturado presenta buena resistencia a la cizalladura y compresibilidad baja. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

Muestra GE-37

Se recogió en una ladera de pendiente mediana y substrato volcánico andesítico, con espesor muestreado de 90 cm. Su clasificación como suelo SM señala que se encuentra constituido por arena limosa con grava, por ello sus características geotécnicas son similares a las de la muestra anterior.

Muestra GE-38

Se tomó en una planicie aluvial y el espesor muestreado fue 65 cm. Su clasificación como suelo CL indica que se encuentra constituido por arcilla arenosa de baja plasticidad, con compresibilidad y expansión medianas. Cuando está compactado es impermeable, y cuando se halla saturado presenta resistencia regular a la cizalladura y compresibilidad mediana. La facilidad de tratamiento en obra es regular.

