



ESTABILIDAD DE TALUDES

SUELOS RESIDUALES

Ing. MSc. JOSE ALBERTO RONDON

Ing. MSc. LUZ MARINA TORRADO G.

SUELOS RESIDUALES

Introducción

Se le denomina suelo residual a un suelo derivado por la meteorización y descomposición de la roca in situ, el cual no ha sido transportado de su localización original.

Los suelos residuales son el producto de la METEORIZACIÓN en el sitio de las formaciones rocosas. En algunas ocasiones algunas formaciones de suelos aluviales que han sido meteorizados su comportamiento puede asimilarse a la de los suelos residuales.

SUELOS RESIDUALES

Introducción

Los suelos residuales comúnmente se les encuentra acompañados por coluviones y un gran porcentaje de movimientos de laderas de suelos residuales están relacionados con inestabilidad de coluviones.

 RESULTADO

UN PERFIL compuesto por materiales heterogéneos que van desde la roca sana hasta un suelo completamente meteorizado y a coluviones.

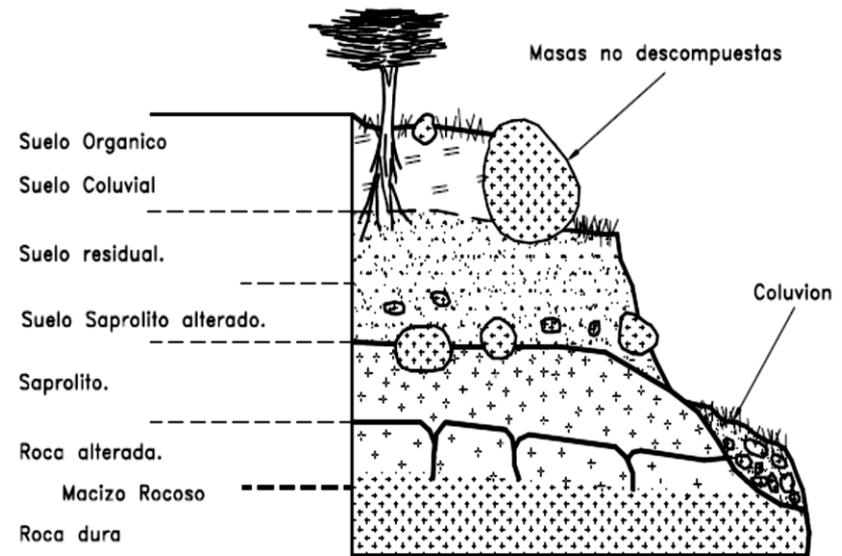
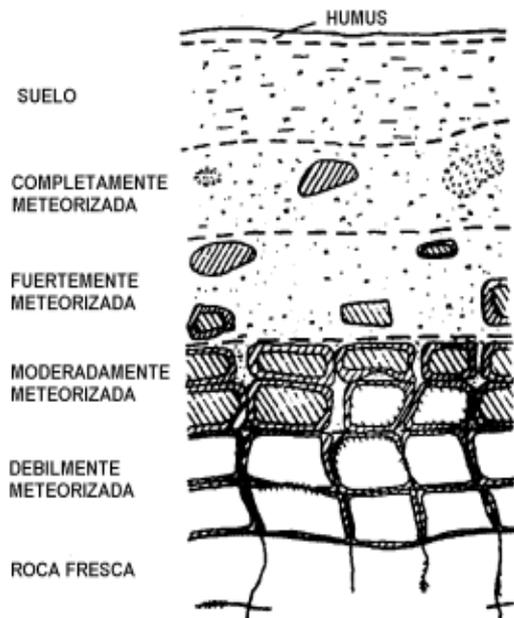


Figura 6.2 Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito.

SUELOS RESIDUALES

Introducción



Horizonte VI

Horizonte VI Suelo Residual. (SR) Con nuevos minerales y sin vestigio de estructura heredada de la roca parental. Corresponde a los horizontes A y B agronómico s.

Horizonte V

Horizonte V Roca Completamente Descompuesta. (RCD) Con nuevos minerales pero con vestigios de la estructura heredada. Por presentar vestigio de la roca parental se le llama Saprolito. (Saprolito Fino). Corresponde al horizonte C agronómico.

Horizonte IV

Horizonte IV Roca Altamente Descompuesta. (RAD) Parcialmente contiene minerales producto de la descomposición, saprolito (S. Grueso) y pequeños fragmento de roca.

Horizonte III

Horizonte III Roca Moderadamente Descompuesta. (RMD) Con alto porcentaje de rocas (bloques algo entrabados mecánicamente), y algo de saprolito (Meteorización penetra algo los bloques) .

Horizonte II

Horizonte II Roca Débilmente Descompuesta. (RDD) con 100% de roca fresca pero con oxidación en la cara de las diaclasas, debido a que éstas están ligeramente abiertas y permiten el acceso al agua. Es decir que los bloques están algo sueltos.

Horizonte I

Horizonte I Roca fresca (No descompuesta). (RF) con bloques perfectamente

HORIZONTES DE UN SUELO RESIDUAL

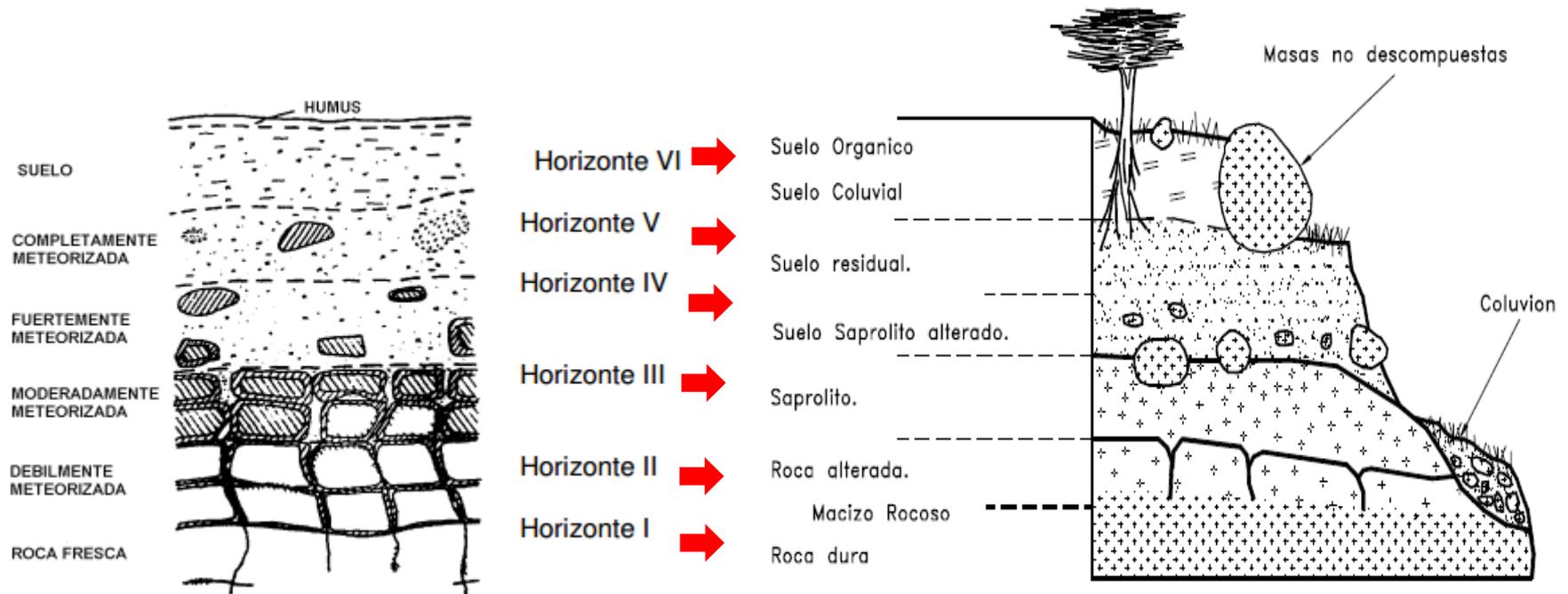


Figura 6.2 Esquema general de una ladera en un suelo residual de granito.

COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE LOS HORIZONTES DE UN SUELO RESIDUAL

<p>VI SUELO RESIDUAL</p> <p>Horizonte laterítico</p>	<p>No se reconoce fábrica relicta o heredada; a lo sumo algo de fábrica mineral. Retorno de turbia en la perforación, sin pérdida.</p> <p>Sin fábrica relicta Con fábrica relicta</p>	<p>Incompetente como material de fundación e inestable en excavaciones, si no se provee protección. Las fallas de taludes son semejantes a las de otros suelos, es decir sin control estructural.</p> <p>Se puede excavar a mano.</p>
<p>V ROCA COMPLETAMENTE DESCOMPUESTA</p> <p>Saprolito Fino</p>	<p>Roca decolorada muy deleznable con fábrica relicta. Retorno de agua turbia en la perforación, con algo de pérdida.</p> <p>Sin recobro</p>	<p>Incompetente como fundación de grandes estructuras; cortes requieren protección vegetal. Las fallas de taludes son semi-controladas por la estructura heredada.</p> <p>También se puede excavar a mano sin dificultad.</p>
<p>V ROCA ALTAMENTE DESCOMPUESTA</p>	<p>Con recobro, pero sin núcleos</p> <p>Roca decolorada; los fragmentos se pueden desmenuzarse aún con la mano. Pueden recobrase algunos núcleos de perforación. Pérdidas de agua de lavado.</p> <p>Recobro de núcleos < (30%-40%) Recobro de núcleos > (30%-40%)</p>	<p>Las fallas de los taludes son controladas por la fábrica relicta o heredada.</p> <p>Se requiere parcialmente usar equipos pesados y explosivos en las excavaciones.</p>
<p>V ROCA MODERADAMENTE DESCOMPUESTA</p>	<p>Roca decolorada; los fragmentos no pueden romperse con la mano y los fragmentos presentan meteorización penetrativa. Se pierde casi toda el agua de lavado si no se usa lodo.</p> <p>Con meteorización penetrativa</p>	<p>Sirve como fundación de estructuras pequeñas y puede usarse para relleno semipermeable; su estabilidad en cortes depende de su actitud estructural.</p> <p>Requiere el uso de explosivos para excavar.</p>
<p>V ROCA DÉBILMENTE DESCOMPUESTA</p>	<p>Sin meteorización penetrativa</p> <p>La roca es algo decolorada y presenta la apariencia de roca fresca, salvo que posee meteorización superficial en las diaclasas y fracturas</p> <p>Con oxidación superficial</p>	<p>Estable como fundación de grandes estructuras, las diaclasas abiertas y la posibilidad de que circule agua a presión por éstas, es desfavorables para la estabilidad de excavaciones.</p> <p>Requiere el uso de explosivos para excavar.</p>
<p>ROCA FRESCA</p>	<p>Sin oxidación superficial o muy poca</p> <p>Roca parental sana</p>	<p>Estable como fundación; las fallas de taludes de corte están controladas estructuralmente.</p> <p>Requiere el uso de explosivos para excavar</p>

CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS RESIDUALES

- 1) No pueden considerarse aislados del perfil de meteorización, del cual son solamente una parte componente. Para la definición de su comportamiento y su posibilidad de ocurrencia en deslizamientos las características del perfil pueden ser mas importantes que las propiedades del material.
- 2) Son materiales muy heterogéneos y difíciles de muestrear y ensayar.
- 3) Usualmente se encuentran en estado húmedo no saturado, dificultad para evaluar su resistencia al corte.
- 4) La mayoría de veces poseen zonas de alta permeabilidad haciéndolos susceptibles a cambios rápidos de humedad y saturación.

METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN

Elemento	Factores a caracterizar	Procedimiento
Medio Ambiente externo	Topografía, régimen de lluvias, humedad ambiental, temperatura, vegetación, sísmica, factores antrópicos.	Mediciones topográficas, hidrológicas, caracterización de cobertura vegetal. Índice climático.
Litología	Tipo de roca, minerales presentes, discontinuidades y microestructura de la roca original.	Caracterización geológica de los afloramientos de roca sana, secciones delgadas, micropetrografía.
Estado de Meteorización	Proceso de desintegración física y descomposición química. Grado de meteorización.	Ensayo de arenosidad, Martillo de Schmidt, Índice micropetrográfico, ensayos de penetración.
Mineralogía	Minerales resultantes del proceso de meteorización, tipos y % de arcilla, sesquioxidos.	Análisis termogravimétrico, escaneado con electromicroscopio, Microscopio óptico, Difracción de rayos X.
Microestructura	Textura, Arreglo de partículas, Ensamble, Fábrica, matriz, tamaño de granos, terrones, sistema de soporte. Cementación entre partículas, Alteración o remoldeo, Anisotropía.	Análisis al microscopio y electromicroscopio.
Estructura	Discontinuidades heredadas, juntas, diaclasas, foliaciones, estratificación, fallas intrusiones. Separación, continuidad, relleno y propiedades de las discontinuidades.	Análisis visual de apiques, sondeos y afloramientos de suelo residual. Microscopio óptico.

Tomado textualmente de Suarez, Díaz Jaime

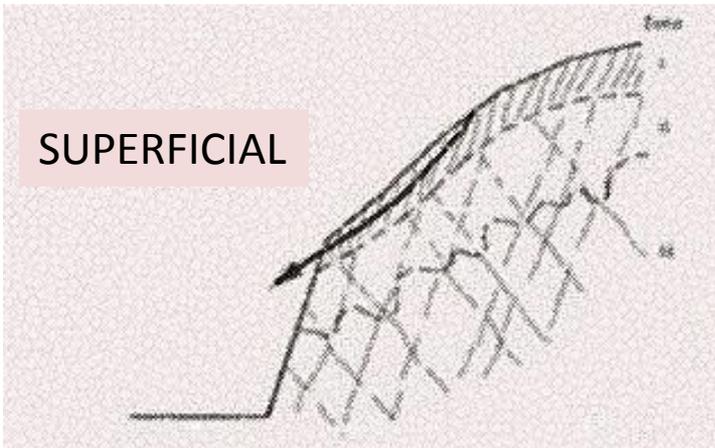
METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN

Propiedades Mecánicas	Resistencia al cortante, Cohesión y, ángulo de fricción de la masa de suelo y de las discontinuidades, envolventes de falla, Relación de vacíos, Permeabilidad, Dispersividad, Factores que afectan estas propiedades.	Ensayos de campo y de laboratorio. Resistencia al cortante, permeabilidad, Peso unitario, relación de vacíos, porosidad, Dispersividad.
Régimen de aguas subterráneas	Humedad, grado de saturación, succión, Posibilidad de aumento rápido de humedad, avance del frente húmedo. Régimen interno de agua permanente y ocasional.	Ensayos de humedad, succión, velocidad de avance del frente húmedo. Redes de movimiento de agua permanente y por acción de lluvias.
Clasificación del suelo residual	Definición de la unidad de suelo, grupo y subgrupo, utilizando todos los elementos anteriores.	Sistema FAO Sistema de Wesley Nombre especial del suelo.
Caracterización del Perfil	Definición de las características del perfil. Profundidad del perfil .	Clasificación por el Método de Hong Kong (grados I a VI).
Superficies preferenciales de falla	Superficie de falla, tipo de falla.	Análisis geotécnico incluyendo agua, sismo, etc.

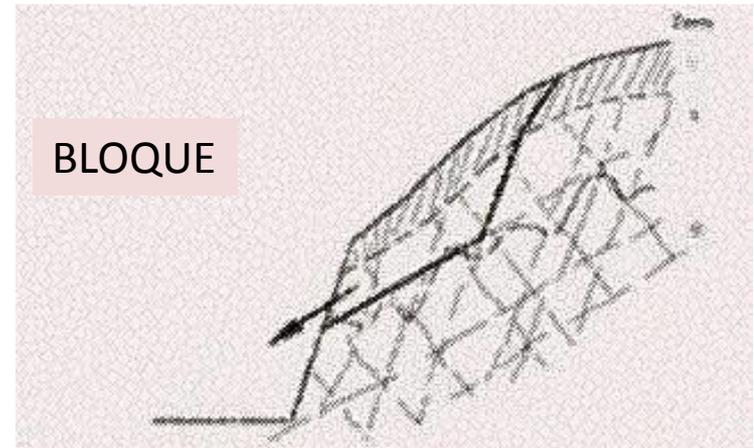
Tomado textualmente de Suarez, Díaz Jaime

TIPOS DE DESLIZAMIENTOS EN SUELOS RESIDUALES

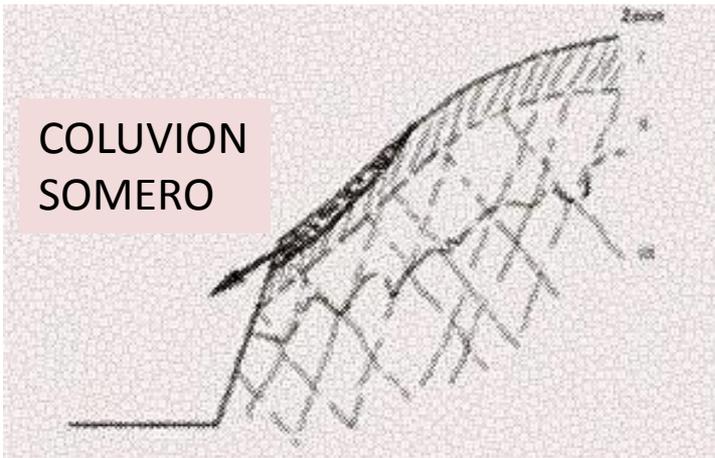
SUPERFICIAL



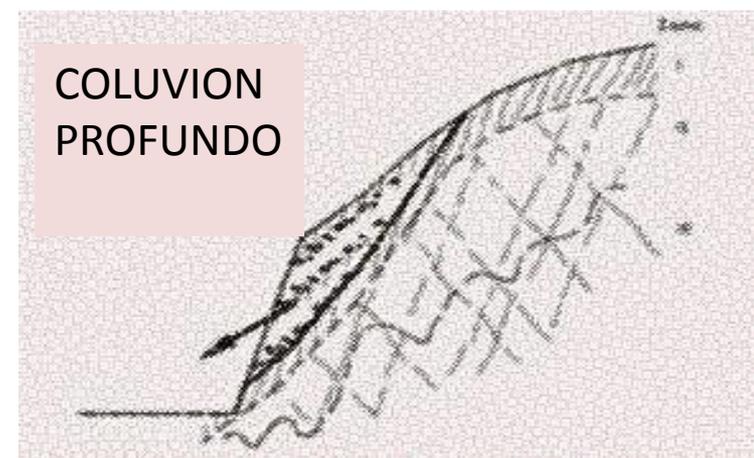
BLOQUE



COLUVION SOMERO



COLUVION PROFUNDO



TIPOS DE MINERALES EN LOS SUELOS RESIDUALES

MATERIAL DE ORIGEN	MINERALES RESULTANTES
Roca cristalina	Caolinita Oxido de hierro Oxido de aluminio
Roca Volcánica	Montmorillonita Aloisita Esmectita Oxido de hierro Oxido de aluminio

ETAPAS DEL PROCESO DE METEORIZACIÓN

DESINTEGRACIÓN DE LAS ROCAS

- ✓ Se abren las discontinuidades
- ✓ La roca se parte
- ✓ Se presentan disminución en la permeabilidad y la cohesión
- ✓ La es un silicato y el producto de la reacción es una arcilla

DESCOMPOSICIÓN DE LAS ROCAS

- ✓ Es ocasionada por procesos químicos y biológicos.
- ✓ Se incrementan el contenido de arcilla y de suelo.
- ✓ Se presenta disminución en la fricción

OXIDACIÓN Y RECEMENTACIÓN

- ✓ Se incrementan los óxidos de hierro y aluminio, los cuales cementan las partículas y aumentan la cohesión.
- ✓ En las rocas ígneas : procesos químicos.
- ✓ En rocas sedimentarias: procesos físicos:

Cuando la meteorización es incipiente los bloques son grandes y controlan en parte el comportamiento del talud, pero a medida que se hace más intensa el factor más importante es la resistencia del suelo meteorizado que actúa como matriz de los bloques independientes.

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE METEORIZACIÓN

CLIMA

Ejerce una influencia grande en la meteorización especialmente la humedad relativa y la temperatura. La influencia de estos factores se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$N = \frac{12EJ}{P_a}$$

N = 5 TRANSICION EN LAS CONDICIONES CALIDA SUBHUMEDAS EN LAS CUALES PREDOMINA LA METEORIZACIÓN QUIMICA Y CONDICION CALIENTE EN LA QUE PREDOMINA LA METEORIZCION FISICA.

N < 5 GRANDES ESPESORES DE SUELO RESIDUAL

Donde:

EJ: Evaporación mes de enero (mas cálido)

Pa : Lluvia anual

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE METEORIZACIÓN

CLIMA

- En zonas tropicales en donde la superficie de la tierra está cubierta de vegetación densa



- Infiltración y retención de agua.
- Lluvias fuertes



- Profundidades de meteorización grandes

- En climas secos o áridos.
- En zonas tropicales montañosas con poca vegetación y pendientes altas



- No hay infiltración del agua.
- La meteorización química es subsuperficial y lenta



- Predominio de meteorización de tipo mecánica

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE METEORIZACIÓN

OTROS FACTORES

- ❖ Frecuencia o espaciamiento de las discontinuidades que afectan el proceso.
- ❖ Plantas y organismos vivos (bacterias), los cuales ayudan al proceso de meteorización química.
- ❖ La topografía, en las zonas de alta montaña predominan proceso de meteorización mecánica por los alivios de las geopresiones, cambios de temperatura, procesos de humedecimiento y secado.

¿CÓMO MEDIR EL GRADO DE METEORIZACIÓN ?

- ☐ **ARENOSIDAD:** Midiendo la facilidad con que se puede cortar o gravar, utilizando un cuchillo o puntilla. (ensayo de arenosidad)

GRADO DE DESCOMPOSICIÓN	ARENOSIDAD	RECONOCIMIENTO
FRESCO	DURO	NO PUEDE SER CORTADO POR UN CUCHILLO NI GRAVADO POR LA PUNTILLA
MODERADO	ARENOSO	PUEDE SER CORTADO POR UN CUCHILLO O GRAVADO POR LA PUNTILLA
ALTO	DESLEZNABLE	NO PUEDE SER DESMORONADO A FRAGMENTOS DE LIMO CON LAS MANOS
COMPLETO	BLANDO	PUEDE SER MOLDEADO FACILMENTE CON LAS MANOS

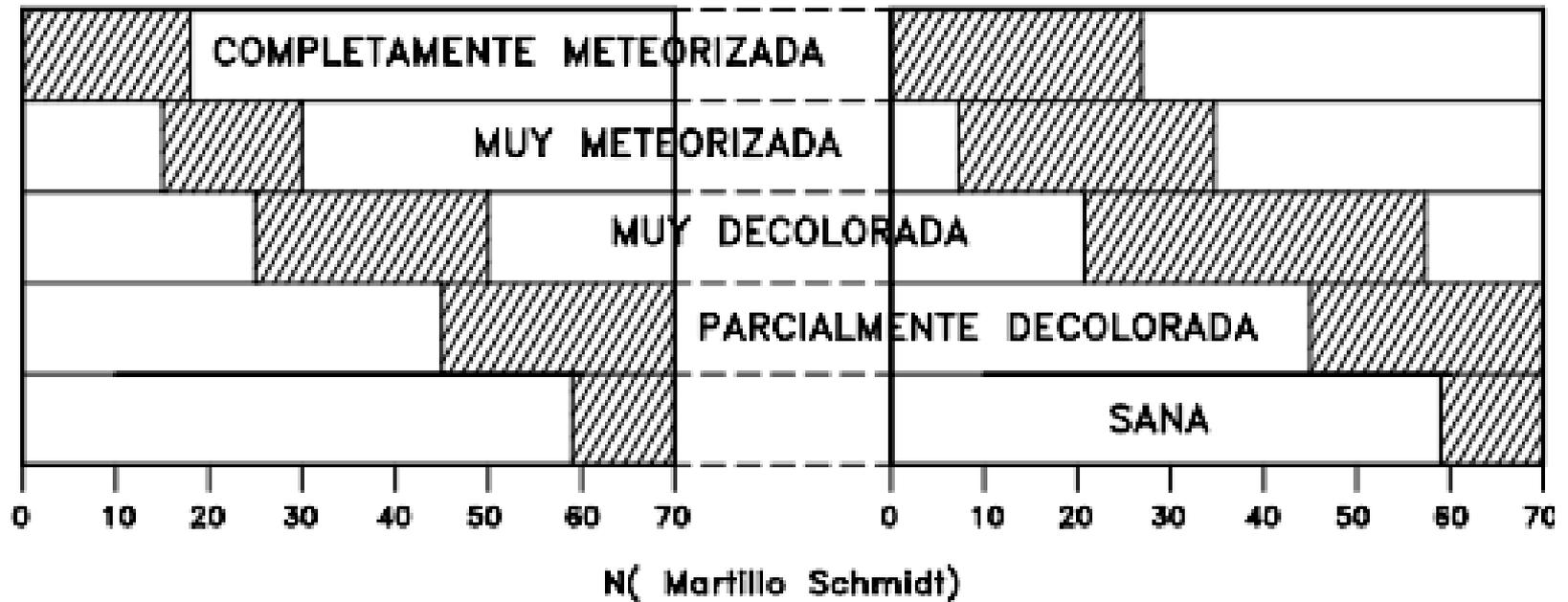
¿CÓMO MEDIR EL GRADO DE METEORIZACIÓN ?

MARTILLO DE SCHMIDT:

Se usa para evaluar en campo el grado de meteorización. Mide el rebote de un pistón metálico cargado con un resorte que se golpea contra la superficie de roca, El rebote es un índice de la resistencia a la compresión y corte por medio de una carta de calibración.



¿CÓMO MEDIR EL GRADO DE METEORIZACIÓN ?



GRANODIORITA (Irfan y Powel-1985)

NEISS (Casclni-19991)

¿CÓMO MEDIR EL GRADO DE METEORIZACIÓN ?

ÍNDICE MICROPETROGRÁFICO:

Mide el grado de descomposición, determinando los porcentajes de materiales inalterados y alterados utilizando una magnificación de 100 veces, utilizando la siguiente ecuación

$$IMP = \frac{\% \text{ de materiales inalterados}}{\% \text{ de materiales alterados}}$$

$$IMP = \frac{\% (\text{quarzo} \text{'} \text{feldespatos inalterados} + \text{bitita inalterada})}{\% (\text{minerales alterados} + \text{vacíos} + \text{microgrietas})}$$

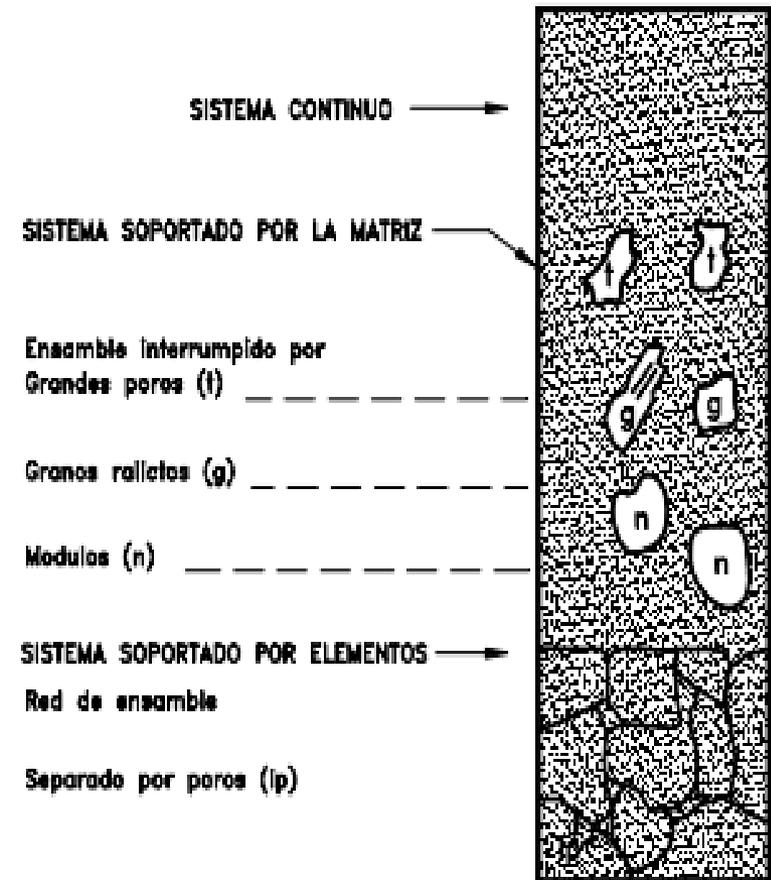
EJEMPLO DE ÍNDICE MICROPETROGRÁFICO DE UN GRANITO

Material	Feldespatos inherados %	Feldespatos alterados %	Cuarzo %	Biotita inherada %	Biotita alterada %	Otros %	Vacios y microgrietas %	Minerales sanos %	Minerales alterados %	Total meteorización %	IMP
1	10.2	40.5	24.3	0.1	1.9	0.1	22.9	34.7	42.4	65.3	0.53
2	9.4	41.4	21.5	0.8	3.0	0.0	23.7	31.7	44.4	68.1	0.47
3	2.7	55.6	25.2	0.0	3.0	0.0	13.5	27.9	58.6	72.1	0.39
4	10.2	28.9	32.9	0.0	4.2	0.0	23.6	43.1	33.1	56.7	0.76
5	9.4	46.2	18.7	0.2	1.6	0.0	24.0	28.3	47.8	71.8	0.39
6	7.0	46.2	22.7	0.0	4.4	0.0	19.5	29.7	50.6	70.1	0.42
7	5.5	47.2	22.9	0.0	0.9	0.0	23.6	28.4	48.1	71.6	0.40
Granito sano	68.2	2.0	28.0	0.7	0.3	0.1	0.6	97.0	2.3	2.9	33.4

Incluye la microfábrica, la composición y las fuerzas entre partículas

- Textura
Orientación entre partículas, cementación y contacto
- Arreglo elemental de las partículas
Arcillas (Desordenados, paralelos o racimos)
Granulares (agrupación de partículas con contactos limpios o cubiertos)
- Ensamble
Como interactúa una partícula con otra, presupone una matriz, la cual puede ser arcillosa o granular.
- Fabrica
Sistema continuo
Sistema embebido por una matriz
Sistema soportado por una red de bloques

MICROESTRUCTURA DE UN SUELO RESIDUAL



ESTRUCTURA DE UN SUELO RESIDUAL

- ❑ Juntas o diaclasas
 - Abiertas o cerradas
 - Material de relleno
 - Formas familias, bloques inestable
- ❑ Foliaciones
 - Paralelas de baja cohesión
 - Direcciones de debilidad parecidas a las diaclasas
- ❑ Estratificación
 - Cambios de material
 - Débiles en cambios bruscos de material
- ❑ Fallas
 - Zonas de debilidad
 - Superficies débiles
- ❑ Intrusiones
 - Intrusiones de materiales



PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS RESIDUALES

- ❖ Resistencia al cortante: La estabilidad de los suelos residuales muy meteorizados se pueden analizar utilizando las teorías tradicionales de la mecánica de suelos, con cierto grado de confiabilidad; sin embargo a medida que se profundiza en el perfil las propiedades de los materiales cambian sustancialmente.

Las muestras de roca son difíciles de muestrear y las muestras de tamaño para ensayos de laboratorio generalmente, dan estimativos muy pobres de la resistencia al cortante y de la permeabilidad.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS RESIDUALES

❖ Variación de la resistencia al cortante:

La cohesión y la fricción entre las partículas o bloques varían bastante de acuerdo al tipo de suelo, contenido de minerales, tamaño y forma de las partículas, humedad, presión de poros y la historia de la formación del material.

Cuando ha ocurrido anteriormente un movimiento, la cohesión y la fricción disminuyen generalmente cerca de las superficies de falla o fractura.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS RESIDUALES

El comportamiento y la resistencia al corte de los suelos residuales dependen de:

- a. La naturaleza de la roca original.
- b. La mineralogía y microfábrica derivada de los procesos de meteorización física y química.
- c. El grado de saturación y los cambios inducidos por modificaciones del contenido de humedad.
- d. La presencia, orientación, espaciamiento, persistencia e imperfecciones de las discontinuidades heredadas, junto con la naturaleza de los rellenos o coberturas.
- e. La presencia, forma y distribución de material de roca menos meteorizada en forma de bloques o bandas dentro de la matriz más fuertemente meteorizada.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS RESIDUALES

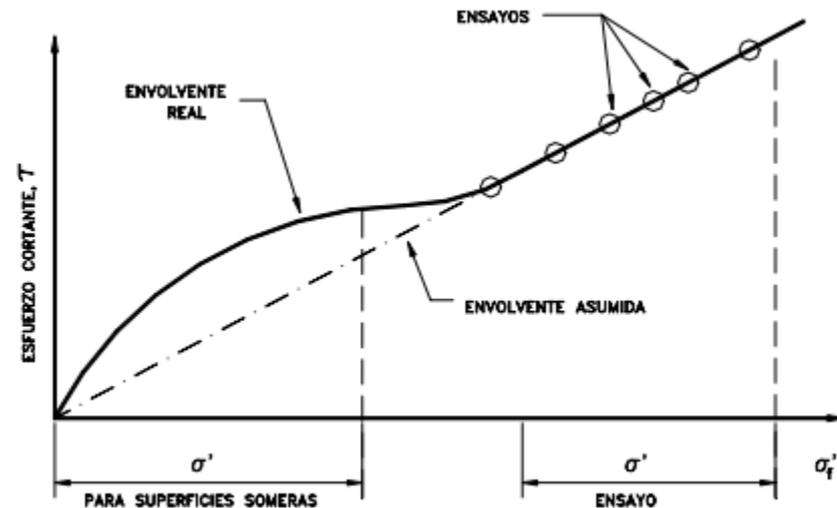
- ❖ La cohesión: es una propiedad determinante en el comportamiento de un suelo residual.

En suelos no saturados hay una cohesión aparente, la cual es el producto de las presiones negativas en el agua de poros, la cual desaparece por saturación, en muchos casos, la cohesión es debida a la cementación de productos precipitados.

La cohesión generalmente, no es continua a lo largo de una superficie y desaparece con frecuencia por la abertura de las discontinuidades debidas a la presión de poros.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS RESIDUALES

- ❖ Angulo de fricción: El valor del ángulo de fricción interna de los materiales disminuye con el avance del proceso de meteorización.
- ❖ La envolvente de falla: En los suelos residuales la envolvente de falla puede tener una forma no lineal, especialmente en el rango de presiones bajas.

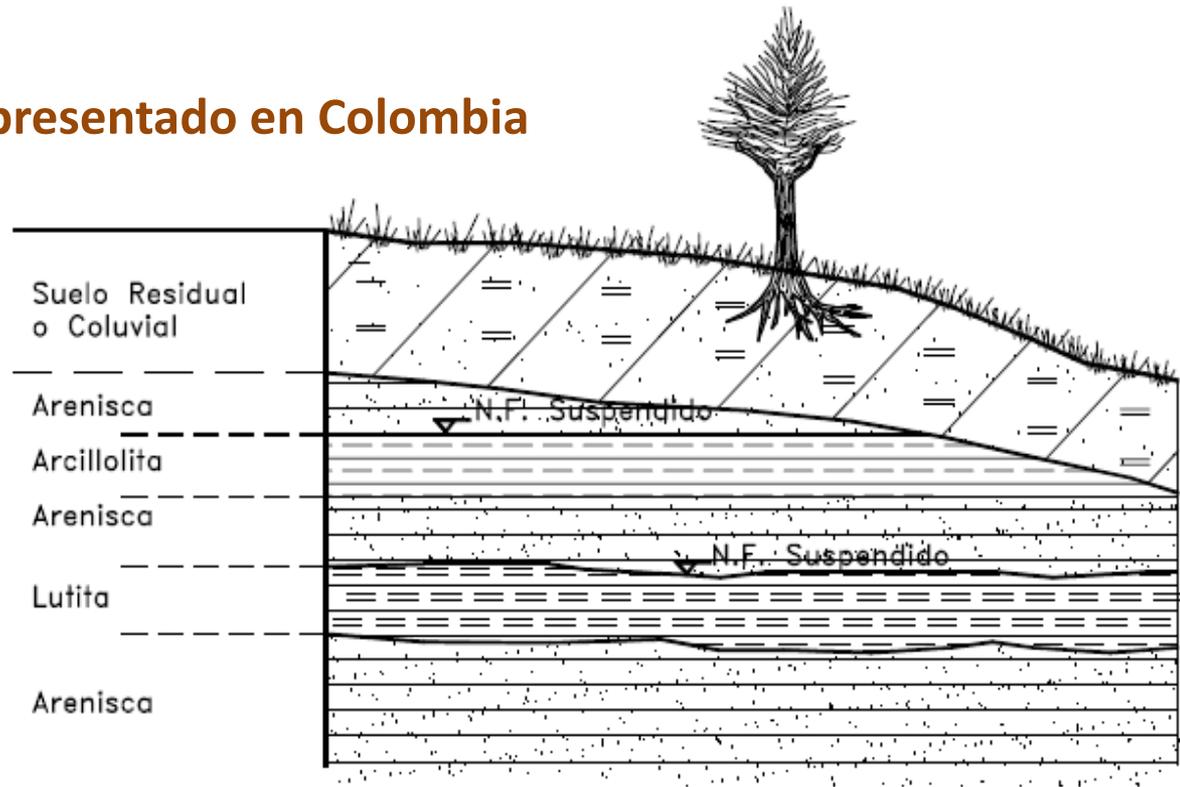


PERFILES DE METEORIZACION Y DESPLAZAMIENTOS DE LOS TALUDES EN ALGUNOS SUELOS RESIDUALES

LUTITAS Y ARENISCAS: Muy presentado en Colombia

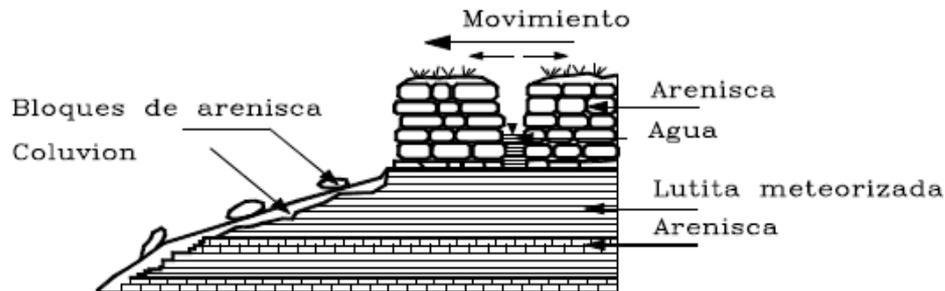
Intercalaciones
de rocas
permeables e
impermeables

Suelo Saprolítico
o Suelo Residual

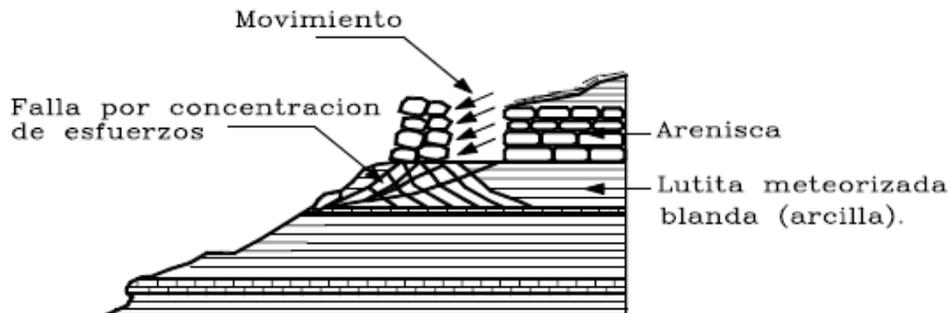


DESLIZAMIENTOS PRESENTADOS EN INTERCALACIONES DE ARCILLOLITAS Y ARENISCAS CON ESTRATIFICACIÓN HORIZONTAL

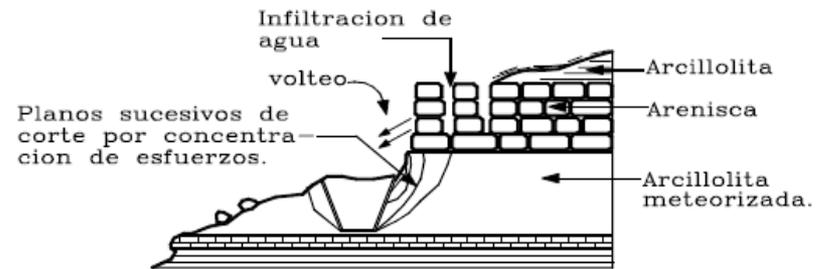
A. Desplazamiento horizontal



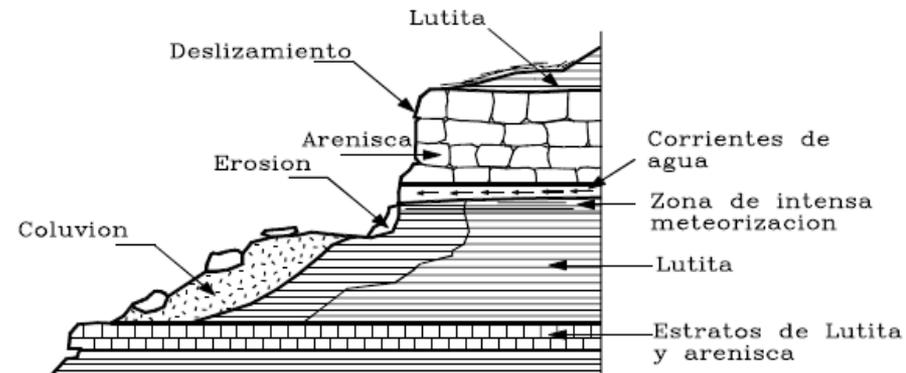
B. Aplastamiento de Lutita blanda.



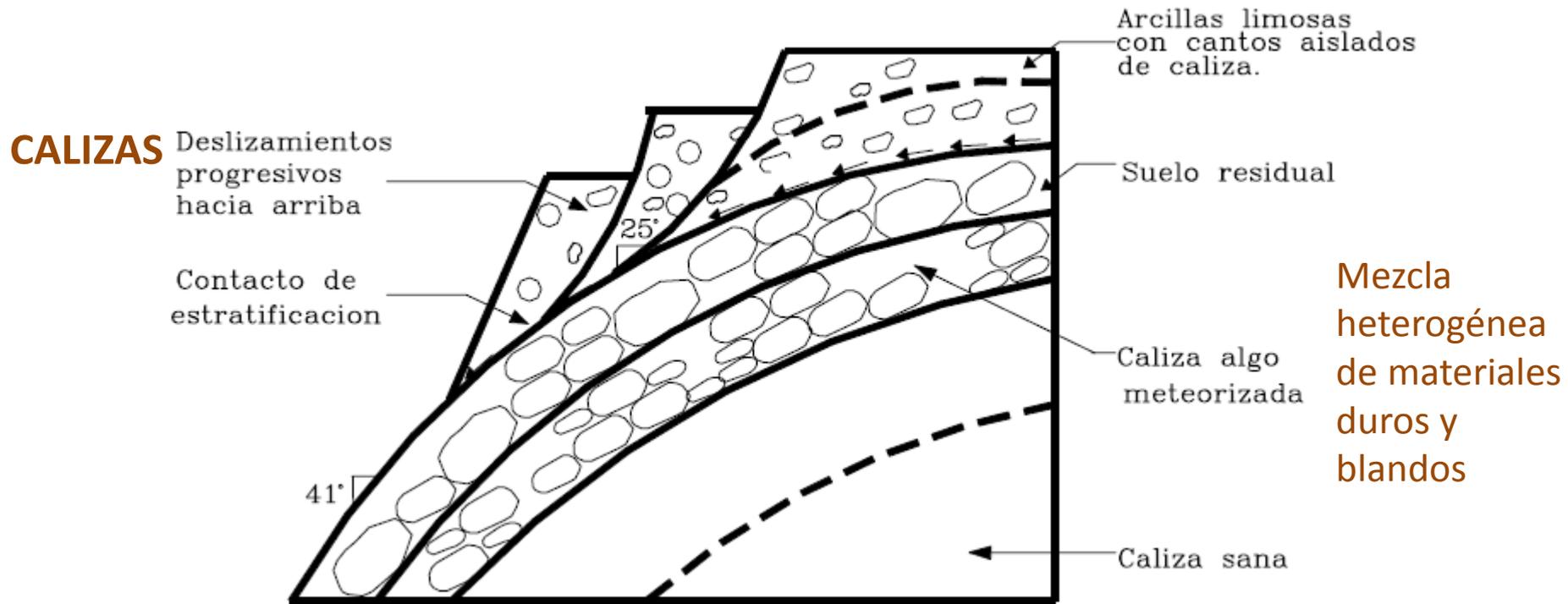
C. Falla al cortante en la arcillolita



D. Falla al cortante en la Arenisca

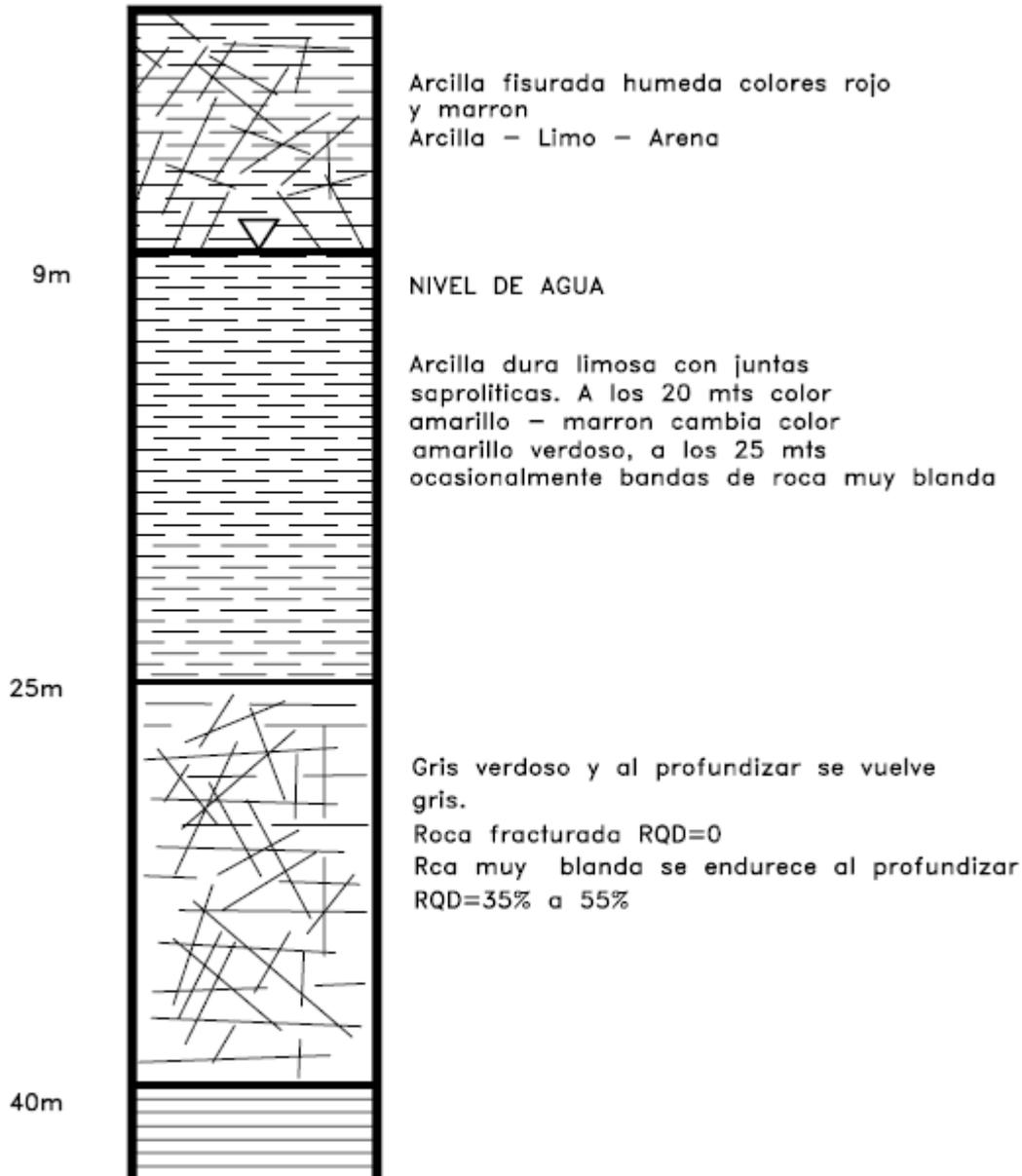


PERFILES DE METEORIZACION Y DESLIZAMIENTOS DE LOS TALUDES EN ALGUNOS SUELOS RESIDUALES

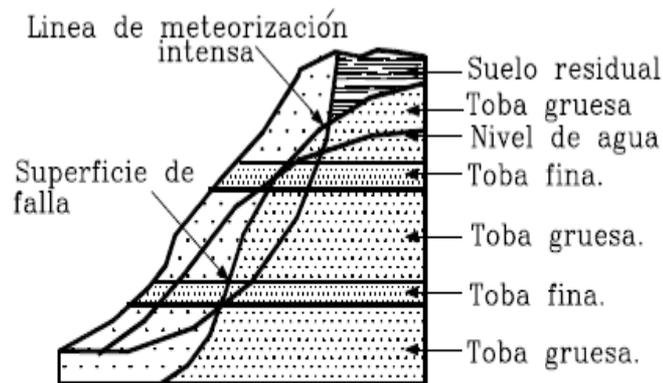


PERFILES DE METEORIZACION Y DESLIZAMIENTOS DE LOS TALUDES EN ALGUNOS SUELOS RESIDUALES

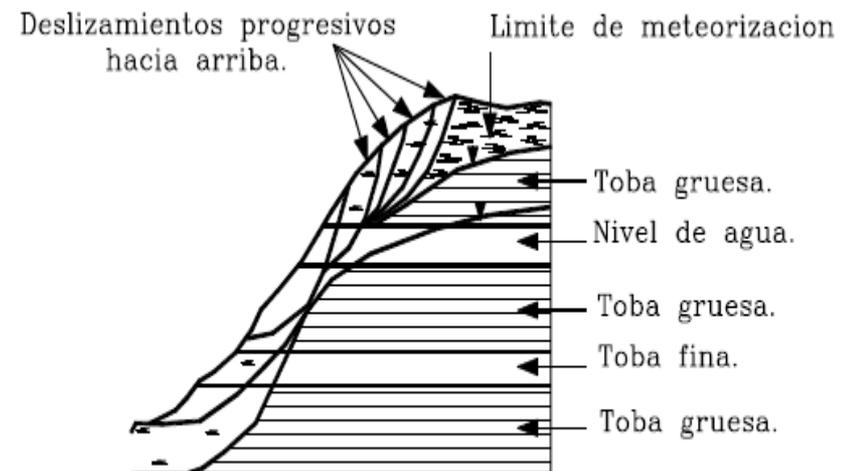
ORIGEN VOLCÁNICO - ANDESITA



FALLAS EN SUELOS DE ORIGEN VOLCÁNICO - ANDESITA

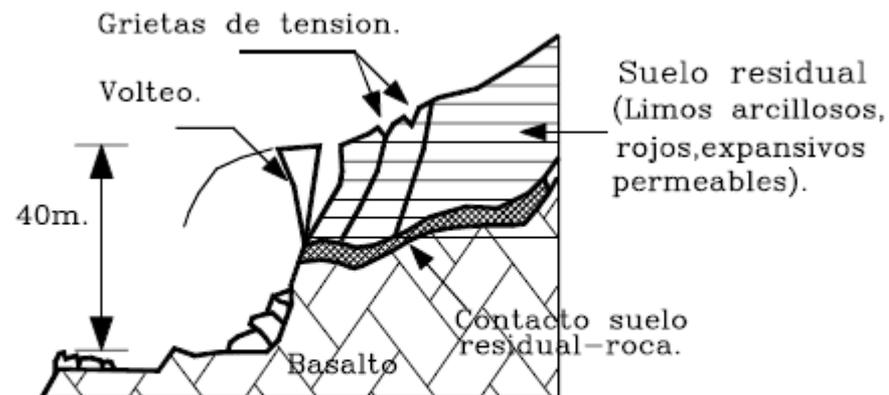


A. Falla en un talud natural de materiales de origen volcánico con perfil profundo de meteorización



B. Falla al hacer un corte en un talud de materiales de origen volcánico con perfil profundo de meteorización

FALLAS EN SUELOS DE ORIGEN VOLCÁNICO - ANDESITA



- C. Falla al hacer un corte en un talud de suelos residuales de origen volcánico con perfil de meteorización semi-horizontal profundo

FALLAS EN SUELOS ALUVIALES

Se presentan fallas casi verticales, presencia de grietas de tensión, y falla de volteo

