

# Suelos, Rocas y Formaciones Superficiales

Por Michel Hermelín\*

## INTRODUCCION

Este trabajo presenta unas cuantas inquietudes de tipo geológico sobre "suelos", extendiendo este último término en el sentido utilizado en Ingeniería Civil.

Se recogen algunas ideas presentadas previamente en conferencias (Hermelín, 1983 - 1984a); se define además el término formación superficial y se analizan las implicaciones que tiene su génesis sobre las propiedades físicas de los suelos; se propone una nueva clasificación, más acorde con nuestro ambiente de montañas tropicales húmedas y finalmente se muestra la aplicación que tienen los conceptos expresados en los estudios geotécnicos.

Este artículo se ha escrito tanto para ingenieros civiles como para geólogos, buscando la difusión de conceptos, los cuales, se espera, serán de alguna utilidad para ambas profesiones.

## 1. ALGUNAS DEFINICIONES

El término suelo tiene un significado que varía con cada una de las diferentes ramas del conocimiento que lo aprovechan.

Si se toma desde un punto de vista naturalista, se define como un cuerpo natural complejo, resultado de la interferencia de la litósfera, de la hidrosfera, de la atmósfera y de la biosfera. En otras palabras, entran en su composición minerales, agua, gases y organismos y sus restos.

Los agrónomos lo consideran como el medio natural que les proporciona a las plantas medio de soporte y nutrición.

Para el ingeniero civil, el suelo es la parte superior de la corteza terrestre con unas propiedades mecánicas

peculiares que a primera vista lo diferencian claramente de las rocas, ya que posee cohesión y densidad netamente inferiores.

La nitidez de la diferencia es sin embargo aparente en varios casos: ¿Es roca o es suelo un depósito de flujo de lodo con matriz arcillosa y bloques de roca fresca? ¿un depósito torrencial con matriz arenosa? ¿la zona inferior de un perfil de meteorización química profunda en el que abundan núcleos residuales de roca dura?

Como se ve, no hay límite tajante entre las dos categorías tradicionales de suelo y roca.

Los geólogos, a su vez, han producido varios términos que a veces introducen una confusión suplementaria.

- Regolito: Para designar cualquier material artificial suelto que en la práctica de Ingeniería Civil se denomina suelo.
- Saprolito: Para designar la roca meteorizada in situ, con pérdida isovolumétrica de materiales disueltos, conservándose la estructura de la roca inicial, que un ojo entrenado puede perfectamente diferenciar.

Hay que reconocer que, en la gran mayoría de los casos, los geólogos han estado más interesados en las rocas sin alteración y en su origen que en sus productos de descomposición por los agentes superficiales.

Una clasificación genética tentativa de formaciones superficiales adaptada para el trópico montañoso aparece en la Tabla 1.

Siendo el énfasis del presente tema el estudio de la superficie de la tierra como lugar de actividad humana, se usará simplemente el término de formación superficial para designar el conjunto de materiales que conforman la superficie de la tierra hasta profundidades del orden de decenas de metros, particularmente en el

*Facultad Nacional de Minas, U. Nacional; U. Eafit; Egeo Ltda., Medellín.*

TABLA 1. Clasificación de formaciones superficiales

1. Derivados de roca in situ
2. Depósitos
  - 2.1 Depósitos de vertiente
    - Producidos por erosión laminar: Coluviales
    - Producidos por desprendimiento: Depósitos de talud
    - Producidos por deslizamiento: En pequeña escala  
( $< 1000 \text{ m}^3$ )  
En gran escala  
( $> 1000 \text{ m}^3$ )
    - Producidos por flujos: (de lodo, de tierra, de escombros)
  - 2.2 Depósitos aluviales: De lecho (diversos tipos de ríos)  
De llanura de inundación  
Torrenciales  
Abanicos  
Terrazas
  - 2.3 D. Lacustres
  - 2.4 D. Paludales (pantanos)
  - 2.5 D. Costeros (Deltas, Barreras, Playas, etc.)
  - 2.6 Eólicos (Dunas, loess, cenizas volcánicas, etc.)
  - 2.7 Glaciales (Morrenas, fluvioglaciales, etc.)
  - 2.8 Marinos

trópico húmedo. Estas formaciones superficiales incluirán por lo tanto suelos y rocas en el sentido ingenieril de la palabra.

## 2. ORIGEN DE LAS FORMACIONES SUPERFICIALES

¿Qué interés presenta considerar el origen de las formaciones superficiales en un contexto tan práctico y aplicado como el de este trabajo?

En primer lugar porque su ocurrencia, en otras palabras, los sitios donde se van a encontrar en la naturaleza, están directamente relacionados con el tipo de proceso que las originó.

En segundo lugar porque su extensión, información de gran importancia para conocer la validez de la extrapolación de cualquier propiedad de una formación superficial, también depende de su origen.

En tercer lugar, como se verá más detalladamente en el próximo capítulo, porque las propiedades mismas de una formación superficial, sean mecánicas, químicas o mineralógicas, son función de los factores que la originaron.

A esta altura caben varias observaciones relacionadas con el origen de las formaciones superficiales:

Pese a su nombre, las formaciones superficiales pueden perfectamente tener como origen procesos geológicos de tipo "interno" como sismos, que pueden provocar movimientos de masa o erupciones volcánicas que generan depósitos piroclásticos.

Todo fenómeno erosivo, además de significar movilización de material, también implica su acumulación en algún lugar, muy a menudo en ambientes continentales.

La Geomorfología puede distinguir claramente entre forma y depósitos. Los estudiantes de un curso elemental de fotointerpretación aprenden a hacerlo con base en las pendientes, pero no debe perderse de vista que la evolución de cualquier depósito sometido a los fenómenos internos puede producirse en forma acelerada.

Surgen varios problemas con respecto a esta clasificación genética:

En primer lugar, a partir de una roca in situ se puede derivar una verdadera colección de suelos con propiedades diferentes en función de su evolución; igual cosa ocurre con cada uno de los depósitos producidos por los procesos mencionados en el cuadro. No basta con definir el origen de una formación superficial por poder deducir sus propiedades. En otras palabras, las necesidades de la Ingeniería Civil no se resuelven con el simple uso de una clasificación geológica.

### 3. PROPIEDADES DE LAS FORMACIONES SUPERFICIALES

Pese a la conclusión alcanzada en el capítulo anterior, éstas, sean físicas, químicas o mineralógicas no son el resultado del azar. Modificando el razonamiento de Jenny (1941), a su vez basado en casi un siglo de reflexiones acerca del origen de los suelos como ecosistemas, pueden plantearse los siguientes factores como causantes de la evolución de las formaciones superficiales y responsables de cada una de sus propiedades:

#### A. Naturaleza de la roca original.

Dicha naturaleza no puede limitarse a una simple descripción mineralógica o petrográfica; debe necesariamente incluir aspectos texturales y estructurales, comprendiendo éstos el grado de fracturamiento de la roca.

#### B. Tipo de proceso evolutivo inicial o emplazamiento.

La clasificación anterior tiene en cuenta dos grandes categorías de evolución: in situ o con transporte (depósitos).

Sin embargo, en el primer caso, el más sencillo, pueden producirse a partir de la misma roca resultados tan opuestos como son las lateritas (endurecidas) o los saprolitos.

Por otra parte un tipo de emplazamiento como por ejemplo el lacustre no permite tampoco predecir la naturaleza del producto final que el ingeniero tendrá que manejar para llevar a cabo su labor. Efectivamente la evolución secundaria de este depósito, una vez expuesto a los agentes externos, determinará su comportamiento

físico final.

Es de anotar que uno de los fenómenos que puede presentarse durante o después del emplazamiento es el de preconsolidación, que afectará probablemente el comportamiento geotécnico posterior de la formación.

#### C. Evolución en superficie

Ni la naturaleza de la roca ni su emplazamiento son suficientes para deducir sus propiedades; hace falta saber cómo ha transcurrido su evolución a partir de su emplazamiento. Entran ahí factores que definen un ambiente de evolución, que pueden adaptarse de Jenny (1950).

- **Clima:** Sus parámetros principales son la temperatura y la precipitación, en un país como el nuestro, la definición de la primera como temperatura media no ofrece problemas mayores, ya que la fluctuación estacional es prácticamente inexistente; la precipitación sí es algo más complicado de manejar: La media anual puede ser insuficiente para expresar pluviosidades con marcado carácter estacional, cuyo efecto sobre las formaciones superficiales es bastante diferente al de una precipitación perfectamente distribuida.

- **Organismos:** Se incluyen vegetales, animales e influencia humana. Aunque los primeros principalmente muestren cierta relación con el clima, es preferible tratarlos como parámetros distintos. Influyen en la relación evapotranspiración/infiltración/escorrentía, en las propiedades de los suelos superficiales e indirectamente en la acidez de las aguas infiltradas, así como en la resistencia de un paisaje dado a los fenómenos erosivos.

- **Topografía:** Contribuye también el comportamiento del agua y a la erodibilidad de un terreno.

Finalmente la duración de la exposición de una formación superficial a los agentes externos es otro parámetro de importancia fundamental en la evolución de sus propiedades. Es una variable cuya magnitud es a veces muy difícil de cuantificar, y que en la inmensa mayoría de los casos no debe confundirse con la edad de la roca a partir de la cual se ha derivado la formación superficial. La determinación puede a veces realizarse por métodos absolutos (radiométricos) o relativos (concentración de óxido de hierro liberados, grado de meteorización de bloques, espesor del suelo suprayacente, grado de disección, etc.). Estos últimos suelen ser suficientes en la mayoría de los casos prácticos.

En síntesis, se puede plantear que las propiedades de

una formación superficial son función de:

- La roca que la originó (r)
- El proceso que la emplazó (p)
- Las condiciones externas de su evolución: clima, organismos, topografía, (cl, o, t)
- El tiempo que lleva expuesta (T)

Lo anterior puede expresarse por medio de la siguiente ecuación:

$$s = f(r, p, cl, o, t, T)$$

En la cual la "s" es cualquier propiedad de la formación superficial en estudio; en el caso concreto de aplicación de este conocimiento a la Ingeniería Civil, serán obviamente de mayor interés las propiedades mecánicas: porosidad, granulometría, resistencia a la cizalladura, etc.

La ecuación anterior puede también plantearse en forma de derivadas parciales que expresan el carácter indiferente de cada una de las variables.

$$ds = \left( \frac{\partial s}{\partial r} \right)_{p, cl, o, t, T} dr + \left( \frac{\partial s}{\partial p} \right)_{r, cl, o, t, T} dp + \left( \frac{\partial s}{\partial cl} \right)_{r, p, o, t, T} dcl + \left( \frac{\partial s}{\partial o} \right)_{r, p, cl, t, T} do + \left( \frac{\partial s}{\partial t} \right)_{r, p, cl, o, T} dt + \left( \frac{\partial s}{\partial T} \right)_{r, p, o, t, cl} dT$$

Tal como lo expresa la ecuación anterior, ninguna de las variables tiene más importancia que las otras, aunque esto suene extraño. Los resultados de varias investigaciones realizadas sobre este tema darán algunas respuestas más concretas al problema.

#### 4. RESULTADOS Y TENDENCIAS

Investigaciones encaminadas hacia la determinación sistemática de la variación de las propiedades de las formaciones superficiales en función de cada uno de los factores de evolución mencionados anteriormente no son viables en la mayoría de los casos, ya que una cuantificación de cada uno de dichos factores puede resultar tan costosa como inútil.

Sin embargo, se han realizado observaciones y estudios cuya revisión rápida es pertinente para ilustrar este trabajo.

- A. Es de común experiencia que una roca de composición homogénea como la granodiorita del Batolito Antioqueño, puede en condiciones climáticas semejantes, ofrecer perfiles de meteorización con grados

de desarrollo bastante distintos. En general estas diferencias suelen estar asociadas a tiempos de exposición muy disímiles. Sin tenerse datos precisos, puede afirmarse con base en la información paleomagnética disponible que el tiempo mínimo para la formación de saprolitos de decenas de metros de espesor (altiplano Río Negro por ejemplo) es del orden de centenas de miles o tal vez de millones de años (Page & James, 1981).

- B. Comparaciones en las propiedades físico-mecánicas de matrices de flujos de lodo y flujos de tierra derivados del Batolito Antioqueño y emplazados en forma prácticamente simultánea en lugares cercanos (cuenca baja del Río Grande, Departamento de Antioquia) muestran diferencias tan notorias (Hoyos & Hermelin, 1980) que dichas propiedades pueden llegar a utilizarse para caracterizar estos depósitos.

Este caso puede concluirse que el factor predominante en la evolución es el emplazamiento original del depósito.

- C. Investigaciones recientes (Hermelin, Hoyos, Gutiérrez & Zuluaga, 1983) realizadas sobre saprolitos y flujos de lodo de diferentes rocas tanto ígneas como metamórficas de los alrededores de Medellín muestran tendencias estadísticas interesantes:

- Las propiedades mecánicas de los saprolitos muestran entre sí más parecido, aunque estos saprolitos provengan de rocas distintas, que el que existe entre un saprolito y una matriz de flujo de lodo derivados de la misma roca.

- De la misma manera, las matrices de los flujos de lodo derivadas de distintas rocas muestran similitud relativa en sus propiedades.

- Esta convergencia de las propiedades mecánicas suele venir acompañada de una evolución similar de la composición mineralógica de la fracción arcilla.

Nuevos trabajos están en curso para intentar el estudio sistemático de las variaciones de las propiedades mecánicas de las formaciones superficiales, sobre todo en función de su tiempo de exposición. Una de las hipótesis planteadas con base en las observaciones realizadas y en conocimientos edafogenéticos obtenidos en el trópico es la comprobación del carácter asintótico de la variación de las propiedades mecánicas en función del tiempo, una vez transcurrido un período de evolución suficientemente prolongado.

Por otra parte, ciertas formaciones superficiales se

prestan mejor que otras a estudios genéticos de cualquiera de sus propiedades: el caso de las cenizas volcánicas es discutido por el autor en otro trabajo (Hermelin, 1984b); presentan efectivamente características de gran interés, pues una capa dada puede ser en muchos casos datada en forma absoluta y seguida por muchos kilómetros a través de climas, usos de la tierra y topografía muy distintos.

## 5. CONCLUSIONES

Con base en la aplicación del razonamiento inicialmente planteado por Jenny (1944) y en resultados de investigaciones anteriores, se ha intentado demostrar en este trabajo que una clasificación de formaciones superficiales basada únicamente en su origen es insuficiente para deducir sus propiedades, particularmente las mecánicas: Para eso hace falta tener en cuenta las características físicas y biológicas del medio en que han evolucionado estas formaciones, así como la duración de dicha evolución.

La determinación sistemática de la influencia de cada uno de los factores de evolución, para una formación superficial, puede ser excesivamente compleja y en la mayoría de los casos injustificada. Sin embargo este razonamiento genético tiene una importancia decisiva en la validez de los estudios de suelos.

Aunque parezca una verdad de perogrullo, la única manera racional de interpolar o extrapolar los valores obtenidos en los tradicionales estudios de suelos debe hacerse a partir de la determinación de unidades claramente homogéneas. Al establecer dichas unidades el profesional que no quiera caer en una dudosa generalización descriptiva debe delimitar detalladamente cada formación superficial encontrada, su grado de evolución, su eventual complejidad y su relación con las vecinas.

Sólo así podrá garantizarse la extensión real que puede asignarse a cada uno de los resultados que obtenga en laboratorio a partir de los ensayos de las muestras obtenidas.

La toma misma de muestras debe estar precedida por la comprensión de las relaciones existentes entre las formaciones superficiales, su génesis y su grado de evolución. Lo anterior suena tan obvio que resulta extraño encontrarse con una práctica profesional a veces tan distinta.

Tal vez no sobre recordar como conclusión la frase de F.J. Pettijohn, conocido experto en rocas sedimentarias: "Una muestra no se toma con un martillo sino con la cabeza".

## BIBLIOGRAFIA

- HERMELIN, M. Aspectos genéticos de algunas de las propiedades de los regolitos, en: V Conferencia regional de Geotecnia. Armenia, 1983.
- HERMELIN, M. Patología de formaciones superficiales, en: Simposio sobre Patología de Estructuras. Medellín, 1984a.
- HERMELIN, M. El estudio de las cenizas volcánicas en el Departamento de Antioquia. DYNA, No. 103, pp. 53 - 58, 1984b.
- HERMELIN, M., HOYOS, F., GUTIERREZ, A., ZULUAGA, J. Physico-mechanical characteristics of saprolites and mud-flow deposits derived from igneous and metamorphic rocks in the Central Cordillera, Colombia: Genetic Aspects. Bull. International Association of Engineering Geology, No. 28, pp. 129 - 132, 1983.
- HOYOS, F. y HERMELIN, M. El uso de la mecánica de suelos en la investigación geomorfológica. Geología Norandina, No. 1, pp. 41 - 50, 1980.
- JENNY, H. Factors in soil formation. New York, McGraw-Hill, 1981, p. 281.
- PAGE, W.D. and JAMES, M.E. The antiquity of erosion surfaces and late cenozoic deposits near Medellín, Colombia: Implications to tectonics and erosion rates. Revista CIAF, Bogotá. Vol. 6, No. 13, pp. 421 - 454, 1981.