

8. INTEMPERISMO O METEORIZACION

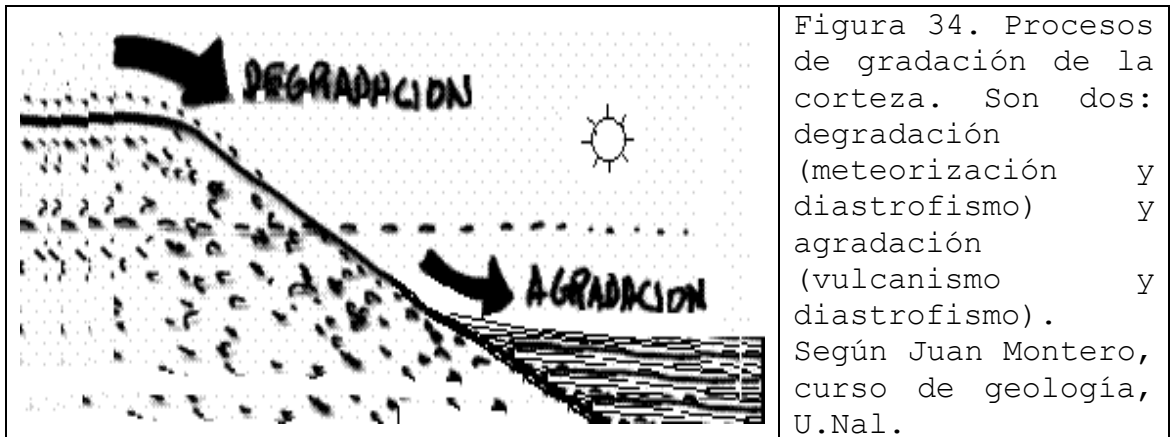
El Peñol, Guatapé, Antioquia. Members.tripod.com

Intemperismo o meteorización es la alteración de los materiales rocosos expuestos al aire, la humedad y al efecto de la materia orgánica; puede ser intemperismo mecánico o de desintegración, y químico o de descomposición, pero ambos procesos, por regla general interactúan. Las variaciones de humedad y temperatura inciden en ambas formas de intemperismo toda vez que afectan la roca desde el punto de vista mecánico y que el agua y el calor favorecen las reacciones químicas que la alteran.

Distintos factores ambientales físicos y químicos atacan a las rocas y las cuartean, disgregan y descomponen, y según el carácter de los factores que produzcan la meteorización se distinguen la meteorización física y la meteorización química.

8.1. PROCESOS EXTERNOS

Estos procesos comprenden la meteorización, erosión, transporte y deposición. Para el transporte la energía potencial que provee la gravedad se transforma en cinética. Otra fuente de energía es el Sol responsable del movimiento del aire y formación de lluvias. A la denudación o acción niveladora se oponen otras fuerzas internas que emergen los continentes. Los continentes pierden un metro de espesor de sus tierras emergidas cada 30.000 años, pues un medio de transporte como el agua, lleva materiales por los ríos al mar.



La faz de la Tierra cambia, es dinámica, pues hay dos factores principales que dan forma al terreno: los procesos constructivos que crean accidentes orográficos nuevos y las fuerzas destructivas, como la erosión, que van desgastándolos poco a poco. Por regla general cuanto más alta es una montaña, más reciente es su formación; el Himalaya no tiene más de 50 millones de años y hace 400 millones de años la cordillera Caledoniana tenía su mismo tamaño; de ellas nos quedan hoy los vestigios del período orogénico caledoniano en Groenlandia, los Apalaches, y las Highlands de Escocia y la meseta costera de Noruega.

El tiempo en cualquiera de sus formas es el agente principal de la erosión. La lluvia barre la tierra suelta y penetra en las grietas de las rocas. El CO_2 del aire reacciona con el agua lluvia formando el débil ácido carbónico que ataca químicamente la roca someténdola a una acción definitiva de largo plazo.

La lluvia se infiltra bajo tierra pudiendo reaparecer después en forma de manantiales. De ellos nacen los arroyos y ríos que se abren paso entre las rocas, arrastrando material de los montes a la llanura.

Cuando hace mucho frío el hielo y la helada, pueden quebrantar las rocas y en las regiones perpetuamente frías

formar glaciares, que excavan valles y arrastran grandes cantidades de rocalla arrancada por su erosión.

En las zonas secas el agente de erosión continuo es el viento y el más definitivo el agua de la ocasional lluvia. El primero arrastra menudas partículas de arena que pulen las rocas expuestas.

También los seres vivos contribuyen a la evolución del paisaje. Las raíces de los árboles se introducen a la fuerza por las grietas de las rocas acelerando su fragmentación. En cambio las raíces de las gramíneas y otras plantas menores ayudan a retener la tierra evitando su erosión por la lluvia y el viento.

La naturaleza misma de las rocas determina su susceptibilidad a los agentes erosivos, pues la caliza y el granito que reaccionan con el ácido carbónico de la lluvia resultan más propensos a la degradación química que otros tipos de rocas menos afectables por la lluvia ácida. La arenisca suele ser más dura que las arcillolitas y cuando ambas están expuestas en capas alternas, erosionado el segundo más que el primero, el afloramiento resulta con un aspecto corrugado y escalonado. Las cascadas y rápidos se producen, entre otros casos, cuando los ríos cruzan capas o intrusiones de roca ígnea dura situada sobre rocas sedimentaria más blanda.

Las fuerzas erosivas del viento, los glaciares, los ríos, las olas y las corrientes del mar son agentes esencialmente destructores, pero pueden ejercer también un efecto constructivo. Las partículas roídas por los ríos terminan depositadas en deltas y marismas en forma de estratos de fango y arena; las que lleva el viento en las zonas áridas descansan en forma de arenas de desierto, y los grandes peñascos y partículas de arcilla que producen y transportan los glaciares dan lugar a espectaculares morrenas.

8.1.1 La meteorización física. Es causada por procesos físicos, se desarrolla fundamentalmente en ambientes desérticos y periglaciares. Es que los climas desérticos tienen amplia diferencia térmica entre el día y la noche y la ausencia de vegetación permite que los rayos solares incidan directamente sobre las rocas, mientras en los ambientes periglaciares las temperaturas varían por encima y por debajo del punto de fusión del hielo, con una periodicidad diaria o estacional.

8.1.2 La meteorización química. Causa la disgregación de las rocas y se da cuando los minerales reaccionan con algunas sustancias presentes en sus inmediaciones, principalmente disueltas en agua, para dar otros minerales de distintas composiciones químicas y más estables a las condiciones del exterior. En general los minerales son más susceptibles a esta meteorización cuando más débiles son sus enlaces y más lejanas sus condiciones de formación a las del ambiente en la superficie de la Tierra.

8.1.3 Alteración tectónica e hidrotermal. No son formas de meteorización la alteración tectónica y la alteración hidrotermal. La primera está asociada a los ambientes de fallas activas, mientras la segunda es una forma de degradación ocasionada por fluidos hidrotermales, la cual tampoco puede ser tomada por meteorización. Producto de una y otra forma de alteración son, en su orden, las brechas tectónicas y la argilización de materiales, dos fenómenos frecuentes en la zona andina colombiana. Tampoco es intemperismo ni la acción abrasiva de olas, corrientes, hielo y viento; tampoco la acción del hombre ni el efecto mecánico del vulcanismo, la gravedad y el diastrofismo (inclinación, plegamiento y fracturamiento de roca).

8.2 FACTORES DEL INTEMPERISMO FISICO O MECANICO

Los factores del intemperismo mecánico son: insolación, gelivación, palpitación, exfoliación, acción de las raíces y crecimiento cristalino.

8.2.1 La insolación. Fenómeno de expansión y contracción térmica del material por variaciones de la temperatura. Si la variación es súbita afectará la superficie de la roca; si es lenta, interesará toda la masa. En el segundo caso aparecerían fisuras cuando el material heterogéneo, (minerales con diferentes coeficientes de contracción y dilatación), pueda generar respuestas diferentes en términos de esfuerzos. La insolación es más eficiente en los desiertos pues la sequedad ambiental permite que durante el día el calor no se pierda en calentar la humedad de la atmósfera y durante la noche no exista reserva atmosférica de calor para que caiga la temperatura.

8.2.2 Gelivación o acción de las heladas. Este factor es más eficiente que el anterior. Cuando el agua penetra en las fracturas de las rocas para luego congelarse, aumenta su volumen en un 9% y genera esfuerzos que fracturan el material. Con variaciones de la temperatura por arriba y abajo del punto de congelación y el nuevo abastecimiento de agua penetrando en el material a través de diaclasas y poros, el hielo, actuando en forma semejante a una cuña, hará progresar las disyunciones afectando sucesivamente el material.

Cuadro 9. Resistencia de algunas rocas en Kg/cm²

Roca sometida	compresión σ_c	tracción σ_t	corte τ
Arenisca	150-500	10-30	50-150
Caliza	400-1400	30-60	100-200
Granito	1000-2800	30-50	150-300
Diorita	1000-2500	-	-
Gabro	1000-1900	-	-
Basalto	2000-3500	-	-
Mármol	800-1500	30-90	100-300
Pizarra	700	250	150-250
Concreto Corr	210	20	10

Belousov, V. V. Geología estructural, MIR, 1979.

Mecánicamente es más vulnerable la roca cerca a la superficie que en el interior y es más competente a esfuerzos de compresión que a esfuerzos de tensión y cizalladura según lo enseña el cuadro 9.

8.2.3 Palpitación. Es el movimiento del suelo causado por masas lenticulares de hielo, cuando el agua lluvia que ha penetrado al subsuelo se congela durante el invierno aumentando su volumen. El mecanismo de congelamiento-fusión del agua, conforme la temperatura fluctúa por arriba y abajo del punto de fusión, da el particular movimiento que conduce a la alteración física del suelo.

8.2.4 Exfoliación. Es una forma de meteorización que conduce, no a la desintegración granular de la roca, sino a su descamación, pues se desprenden de la roca láminas o capas curvas. Se presentan dos productos de exfoliación: los domos de exfoliación por despresurización de un macizo rocoso, y los peñascos intemperizados esferoidalmente, por exfoliación térmica.

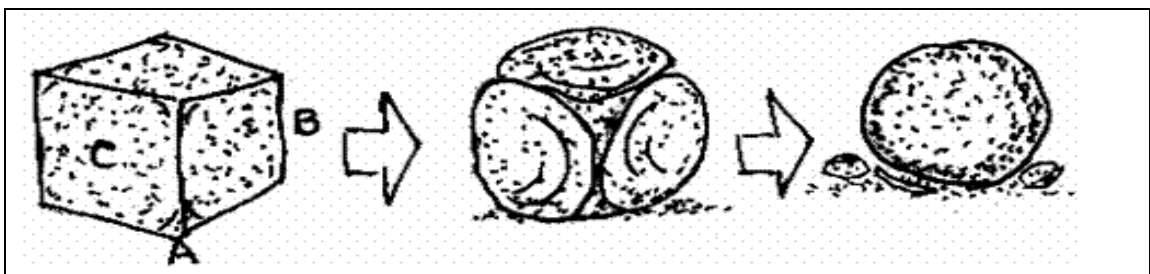


Figura 35. Formación de un peñasco esferoidal: proceso dado a partir de un bloque, por meteorización diferencial. En A convergen tres caras, es la zona más frágil. En la arista B convergen sólo dos caras mientras en el costado C hay una cara. B es menos resistente que A y más que C. Adaptado de Longwell y Flint, Geología Física.

La despresurización es un relajamiento mecánico de una masa rocosa cristalina sepultada que posteriormente por erosión, emerge. La pérdida de presión de confinamiento significa una caída de las fuerzas confinantes y como respuesta un

incremento en el volumen de la masa ya descubierta, para que las fuerzas de distensión den el domo, como ejemplo el Pan de Azúcar en Río de Janeiro o el Peñol en Guatapé (Antioquia).

La exfoliación térmica, segunda forma, es el efecto mecánico del intemperismo químico que favorece la separación de capas sucesivas y delgadas de un bloque inicialmente cúbico que se transforma en esfera, por ejemplo el granito de bolas. En la fig. 35 el cubo se transformará en esferas por velocidad diferencial de intemperismo ya que C con tres caras es más vulnerable que B con dos caras convergiendo y B es más vulnerable que A donde sólo se expone una cara.

8.2.5 Acción de las raíces. Las raíces que crecen en las grietas de las rocas generan esfuerzos de tracción. Se trata de un efecto de cuña asociado al engrosamiento de la raíz que se desarrolla y progresa, colaborando en la dislocación de los materiales rocosos.

8.2.6 Crecimiento cristalino. El crecimiento de cristales de sales a partir de disoluciones acuosas en los poros y diaclasas es también un importante factor de meteorización física, sobre todo en los climas áridos y semiáridos donde es muy común.

8.3 FACTORES DEL INTEMPERISMO QUIMICO

Los factores del intemperismo químico son cinco, el intemperismo mecánico, la composición mineralógica original, la profundidad de los materiales y las variaciones de la temperatura y de la humedad.

8.3.1 El intemperismo mecánico. Es el factor más importante de intemperismo químico, porque el proceso garantiza mayor área de exposición de los materiales.

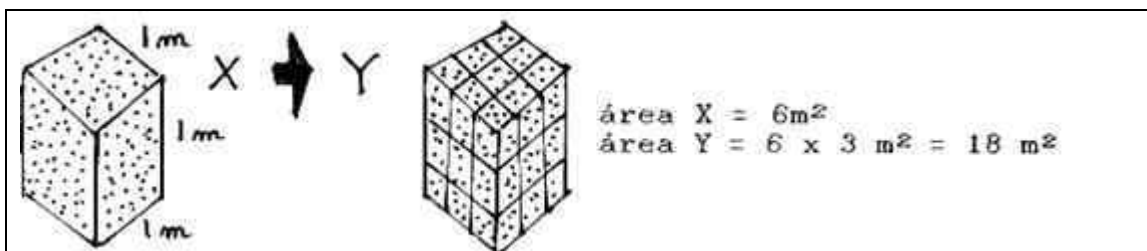


Figura 36. Bloque fracturado merced a un sistema de diaclasas. Las fracturas son ortogonales y de igual espaciamiento. Se observa cómo el fracturamiento ofrece más área de exposición pues si el bloque X tiene 6 m^2 , la formación de pequeños bloques con aristas 3 veces más pequeñas, triplicará el área de exposición. Adaptado de Leet y Judson, Geología física.

8.3.2 La profundidad. Porque los materiales de la superficie están más expuestos a las variaciones de temperatura y la humedad y por consiguiente al aire y la materia orgánica. En la superficie existen organismos vivos que favorecen la alteración de la roca.



Figura 37. Raíz de una planta formando arcillas. Por las cargas eléctricas (-) de la raíz hay adherencia de iones de hidrógeno (H^+); la ortoclasa tendrá disponible iones de potasio (K^+). Adaptado de Leet y Judson, Geología física.

En la figura 37 se ilustra un proceso, de interacción planta suelo: por intercambio de cationes, el potasio pasa a alimentar la planta, intercambiándose por el hidrógeno, que pasa a oxidarse en la roca ígnea, donde se forma la arcilla.

8.3.3 La composición del mineral original. Este es un factor que alude a la génesis y tipo de roca, a su textura.

Por ejemplo, entre los metales el hierro se oxida más rápidamente y entre los silicatos, según Bowen, el cuarzo resiste más que los otros de la serie.

8.3.4 La temperatura y la humedad. Son dos factores climáticos que condicionan la velocidad e intensidad de las reacciones químicas; la humedad favorece la producción de ácido carbónico, además de proveer otros ácidos de reacción. Las rocas se degradan por ciclos de humedecimiento y secado antes que por una humedad y temperaturas fijas; la intensidad en la variación de ambos factores es el aspecto fundamental.

8.4 FORMAS DEL INTEMPERISMO QUIMICO

Estas formas dependen del agente y se denominan:

- **Disolución.** Es la forma más sencilla de ataque químico y consiste en disociar moléculas de rocas por ácidos como el carbónico y el húmico. Rocas solubles son las calizas y las evaporitas.

- **Hidratación.** Fragmentación de la roca como consecuencia del aumento de volumen producido por el agua de cristalización. Se explica porque algunos minerales pueden incorporar agua a su estructura cristalina, en proporción definida. Ej., yeso y anhidrita.

- **Hidrólisis.** Consiste en la incorporación de iones de H^+ y OH^- a la red estructural de los minerales. Supone separar una sal en ácido y base. Cuando el agua se descompone para que el ion OH^- reaccione con las rocas, en especial silicatos y sobre todo feldespatos, se obtienen arcillas. Las rocas ígneas tienen cationes metálicos Mg, Ca, Na, K, Fe y Al, que con el hidróxido (OH^-) forman bicarbonatos y carbonatos solubles.

- **Oxidación.** Aquí los componentes de las rocas reaccionan con el oxígeno que se halla disuelto en el agua. Ocurre

frecuentemente en los compuestos de hierro donde es más visible por los colores rojizos y amarillentos del Oxido e hidróxido férrico, respectivamente.

- **Carbonatación.** Fijación del CO_2 . Esta especie y el agua forman ácido carbónico. El H_2CO_3 reacciona a su vez con el carbonato cálcico para formar bicarbonato en los paisajes kársticos (propios de los yacimientos de mármoles, dolomías y calizas).

- **Reducción.** Que es disminuir o perder oxígeno, lo contrario de oxidación. Algunos minerales al sufrir reducción provocan la alteración de la roca.

8.5 FRAGMENTOS LITICOS

8.5.1 Tamaños de partículas en suelos típicos

Antes se pensaba que las propiedades de un suelo dependían exclusivamente del tamaño de sus partículas; hoy este concepto sólo es válido como una regla que se aplica a los suelos gruesos. Las arcillas y los limos finos tienen comportamientos asociados a fuerzas eléctricas, por oposición al de los suelos granulares, que es de carácter mecánico.

Son varios los sistemas de clasificación de suelos, y la diferencia entre unos y otros radica en los tamaños de partículas y fuerzas que actúan entre ellas. Gradación y frecuencia por diámetros para los suelos grueso-granulares friccionantes (arenas, gravas, etc.), y límites de plasticidad y consistencia para los fino-granulares cohesivos (limos y arcillas).

Cuadro 10. Tamaños típicos de partículas y fragmentos de suelo.

NOMBRE DEL SUELO	TAMAÑO PARTICULA mm)	TERMINO CUALITATIVO
Arcilla	Inferior a 0.002	Similar a la harina
Limo	Fino 0.002 - 0.006 Medio 0.006 - 0.02 Grueso 0.02 - 0.06	Azúcar pulverizada donde los granos no se distinguen
Arena	Fino 0.06 - 0.2 Media 0.2 - 0.6 Grueso 0.6 - 2.0	Azúcar o sal de mesa; los granos se distinguen
Grava	Fino 2.0 - 6.0 Medio 6.0 - 20.0 Grueso 20.0 - 60.0	Mayor que la cabeza de una fósforo
Canto rodado (guijarros)	60.0 - 200.00	Mayor que el puño de un niño. Piedras propiamente dichas
Boleos o bolos	Superior a 200	Piedras y bloques

Adaptado de Alberto J. Martínez Vargas, Geotecnia para ingenieros, Lluvia Editores, 1990.

8.5.2 Tipos de arcillas. Las arcillas son, en el sentido mineralógico, cristales microscópicos con átomos dispuestos en planos. Los cationes de silicio y aluminio, principalmente, están en el interior de una trama de átomos de oxígeno cuyas esferas iónicas son voluminosas.

Si el volumen de los vacíos de la trama de los oxígenos lo permite, los cationes señalados pueden sustituirse por otros de hierro, magnesio, calcio o potasio. Otros iones pueden completar las capas y unir las entre sí.

Las principales arcillas, son: la caolinita, que presenta una baja capacidad de intercambio y dos capas de cationes, se llama arcilla 1/1 (capa tetraédrica + capa octaédrica); la illita y la esmectita (por ejemplo la montmorillonita)

que son arcillas 2/1 con una capacidad de intercambio media en la illita y alta en la montmorillonita (arcilla hinchable o expansiva).

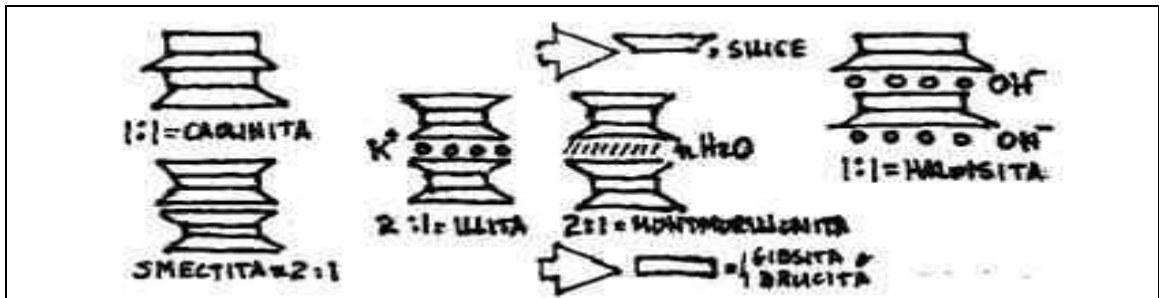


Figura 38. Representación simbólica de las arcillas. La estructura fundamental se establece con un rectángulo y uno o dos trapecios. El trapecio representa un tetraedro de silicio y el rectángulo un octaedro de Aluminio (gibsite) o de Magnesio (brucita). Según Juan Montero, curso de Geología Universidad Nacional.

Los minerales de arcilla producirán caolinita si el clima es tropical drenado y en especial cuando el material parental es granito, illita si se da en clima seco y frío y montmorillonita, que se asocia a bentonita si se da en suelos alcalinos pero mal drenados.

- **La caolinita.** Es rica en sílice y aluminio, colores: blanco, amarillo, verde y pardo. Muestra una perfecta exfoliación, es apreciada para fabricar utensilios.

- **La illita.** Está ligada por potasio, con sílice y aluminio; normalmente amarilla o roja, si tiene hierro, o blanca si es pura.

- **La montmorillonita.** Presenta magnesio o aluminio hidratado entre láminas de silicio. Tiene en su estructura molecular n moléculas de agua; el parámetro n, variable, le da su característica de expansiva.

Para distinguir entre limos y arcillas debemos precisar que la cohesión entre las partículas de arcilla es mayor, tanto en el estado seco como húmeda. Un trozo de arcilla seco es duro y resistente, el de limo tiende a pulverizarse. Dentro de ciertos grados de humedad la arcilla es plástica, mientras el limo trata de agrietarse. Los granos de arcilla son más finos y se precipitan tardíamente en aguas tranquilas, siendo el tiempo de asentamiento para el material disperso en una vasija, de horas a días para la arcilla y de minutos u horas para los limos.

Debe tenerse en cuenta la movilidad de los cationes. Es alta en los cationes de Ca, Na, Mg y K; mediana en los de K, Mg, Si y Fe^{+2} (ferroso), y baja en los de Al y Fe^{+3} (férrico). Por ello en suelos mal drenados quedan Ca, Na, Mg y K favoreciéndose la montmorillonita y en los bien drenados quedan sólo Al y Fe^{+3} formándose caolinita y óxidos de hierro. La illita se forma en suelos medianamente drenados.

8.5.3 Propiedades ingenieriles de los componentes del suelo. Las arenas y las materias orgánicas presentan buena permeabilidad en estado seco o húmedo. Las arcillas no, sobre todo la illita y la montmorillonita. Las alófanas son la excepción, pues su permeabilidad en estado húmedo es alta.

La estabilidad volumétrica de arenas, limos, micas, carbonatos y sulfatos, es buena, mientras la de las arcillas no, y en particular la de la montmorillonita que es muy baja. La plasticidad y cohesión son muy altas en la montmorillonita y arcillas alófanas y muy baja en los limos.

La resistencia del material seco es muy alta en la montmorillonita, y del material húmedo es muy baja en limos, montmorillonitas y materia orgánica. La compactación con humedad óptima es muy alta en carbonatos y arcillas

alófanas, pero muy baja en micas, montmorillonitas y materia orgánica.

La estabilidad al intemperismo es muy alta en la arena y los carbonatos y muy baja en micas y materia orgánica. La abrasividad es alta en las arenas y muy baja en arcillas, sobre todo en la illita y la montmorillonita.

La arena muy fina es abrasiva y no manifiesta cohesión; presenta además problemas ingenieriles cuando el material es uniforme. La mica se intemperiza fácilmente, es compactable y no tiene cohesión. La biotita causa más problemas que la moscovita. Los carbonatos se pulverizan fácilmente y son solubles en ácidos, mientras los sulfatos atacan al cemento Pórtland, tienen alta plasticidad y alta relación de vacíos.

La caolinita no es expansiva, es de baja plasticidad y baja cohesión, mientras que la illita y más aún la montmorillonita, son expansivas, de plasticidad media e impermeables. En ambas como en la clorita, hay que considerar la salinidad.

Deben tenerse en cuenta suelos con problemas ingenieriles como los suelos expansivos, colapsables, desleibles y dispersivos. En el medio ambiente puede haber sustancias activas y reactivas, y factores que alteren el suelo provocándole daños de composición, químicos y mecánicos, según sus componentes constitutivos.

Existen arcillas sensitivas y suelos que colapsan al recibir agua por primera vez. Hay suelos desleibles que son de naturaleza salina y portan iones Na^+ que los hace dispersivos. Los suelos activos pueden ser químicamente neutralizados. La materia orgánica es de alta permeabilidad, difícilmente compactable y rápidamente degradable por oxidación. No sirve como material de fundación y debe evitarse en la base de los rellenos. Los minerales de alteración son la clorita y la sericita que

explican fenómenos de cloración y sericitación. En este caso el mismo fluido produce en la masa ganancia de sílice cementante (silificación), mejorando las características de la roca alterada.

El potencial de licuación de una arena aumenta cuando el material es fino y suelto. Debe existir un ambiente saturado y amenaza sísmica con eventos de suficiente energía.

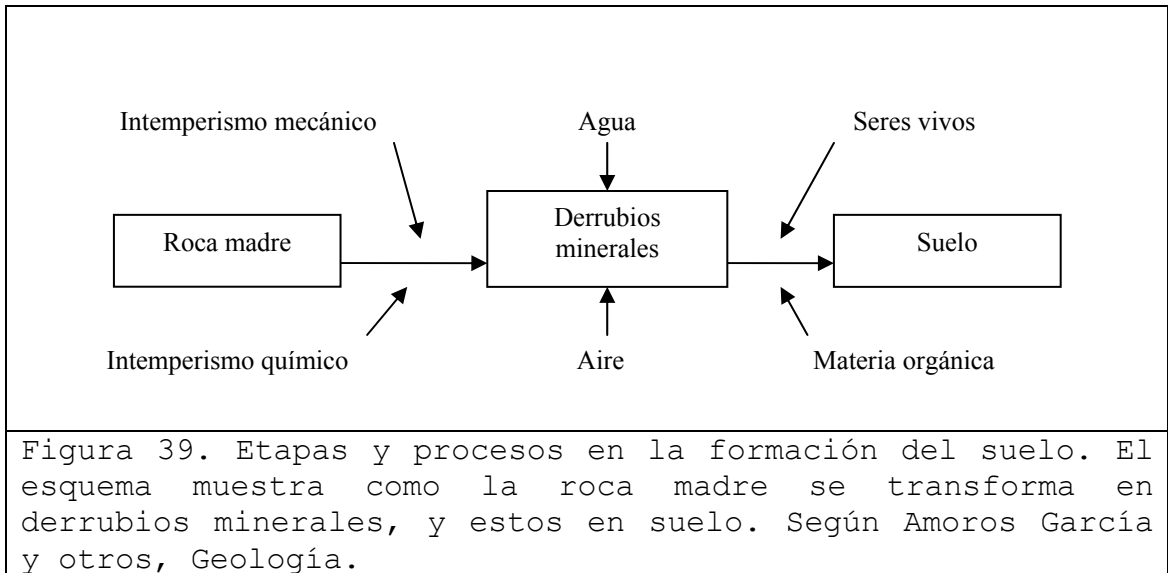
Para efectos prácticos es importante separar suelos sin fuerte influencia mineralógica, con fuerte influencia y con muy fuerte influencia. En el tercer grupo encajan los andosoles, por tener haloisitas y alófanas, mientras las lateritas encajan en el primero. Las alófanas tienen capacidad de almacenar agua y sufrir cambios de volumen irreversibles. Las haloisitas en últimas son livianas y cambian su naturaleza a alta temperatura. Las lateritas pueden ser fersialíticas, ferralíticas o ferruginosas, según el clima

8.6 SUELOS

Un suelo observado y definido en un momento dado es el resultado de todos los procesos que han transformado el material original, es decir, la roca que antes había donde hoy se halla el suelo.

El entendimiento de estos procesos permite conocer mejor y prever el comportamiento del suelo. El agricultor o el ingeniero modificarán estos procesos mediante aporte de elementos químicos, drenajes, etc.

El estudio de la génesis de los suelos, que se puede inferir de los cortes, presenta un doble interés práctico, puesto que permite definir los tipos y, en consecuencia, las unidades conceptuales y geográficas de suelos y así mismo plantear mejor las leyes del comportamiento del suelo.



Los procesos de alteración suponen la evolución de la materia mineral, casi siempre en interacción con la materia orgánica, y los procesos de desarrollo entrañan la aparición de organizaciones nuevas en comparación con la roca madre.

8.6.1 Definiciones relacionadas con suelos

- **Clima.** Condiciones del tiempo meteorológico en conjunto pero en un período de varios años (a largo plazo).
- **Lixiviación.** Remoción continua de materiales solubles, por las aguas que se introducen a través del regolito o por los poros e intersticios de las rocas.
- **Sedimentos.** Acumulación de partículas de rocas que han sido transportadas.
- **Regolito.** Es el material suelto constituido por partículas de rocas.

- **Suelo residual.** Es el suelo que cubre la roca de la cual se deriva. En consecuencia no es suelo transportado.

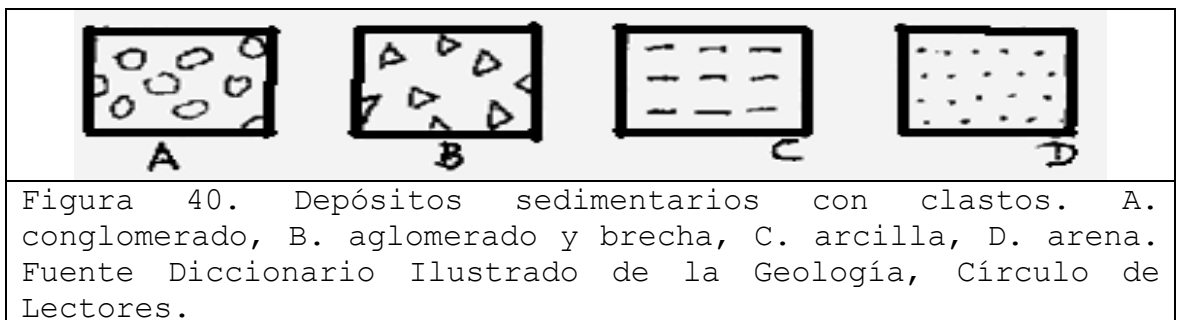
- **Suelo transportado.** Es el suelo que se forma lejos de la roca madre.

En consecuencia no es suelo residual.

- **Tiempo** (meteorológico). Condición del aire a corto plazo, estado de la atmósfera.

-**Humus.** Residuo de la descomposición de tejidos orgánicos que da el color oscuro a la parte superior de un perfil de suelos y que con el agua genera ácidos que propagan el intemperismo químico.

- **Suelo.** Parte del regolito que sostiene las plantas y se estudia en la edafología.



- **Saprolito.** Regolito que mantiene la estructura de la roca madre.

- **Aglomerado.** Depósito compuesto de bloques angulosos en una matriz fina.

- **Conglomerado.** Depósito compuesto de bloques redondos, en una matriz de finos.

- **Brecha.** Depósito compuesto de guijarros y chinás en una matriz fina.

- **Areniscas.** Depósitos consolidados de arena (rocas sedimentarias detríticas).
- **Limolitas.** Limos consolidados (rocas sedimentarias detríticas).
- **Arcillolita.** Arcilla consolidada (roca sedimentaria detrítica).

Las limolitas y arcillolitas se llaman genéricamente shale o lutita.

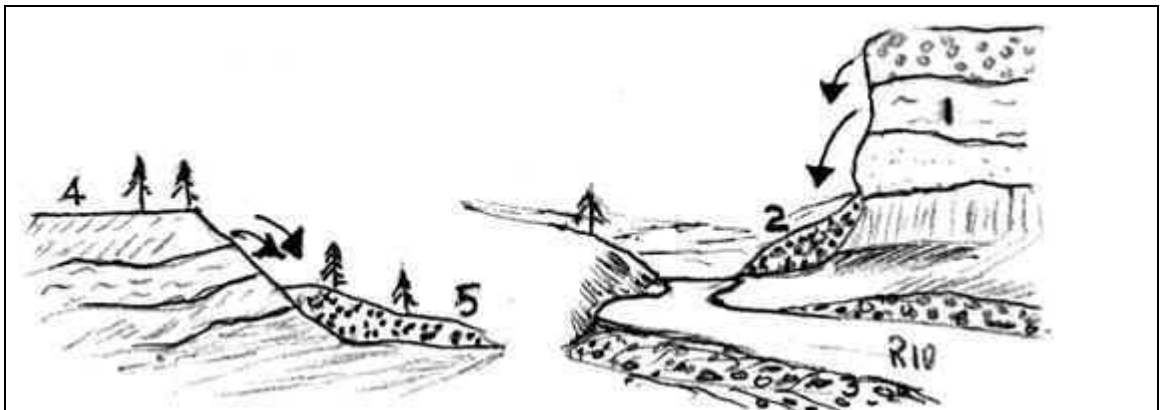


Figura 41. Otros depósitos sedimentarios. 1. Eluviión: depósito in situ; 2. Coluviión: depósito de ladera; 3. Aluviión: depósito de corriente; 4. Suelo autóctono: el que se desarrolla en la roca madre; 5. Suelo alóctono: el que ha sido transportado.

8.6.2 Perfil del suelo. El suelo es la capa que envuelve la corteza terrestre. Para el agrónomo, es la capa que está formada por una mezcla de compuestos orgánicos, material mineral, aire y agua, y que además de dar soporte para el crecimiento de las plantas, suministra elementos nutritivos para las mismas. El suelo tiene su origen en el material petrográfico que se transforma. A medida que la roca se altera de esa manera en profundidad, se da una sucesión de

capas entre la superficie y la roca madre, denominada perfil del suelo, el que puede tener un espesor del orden de 1.2 metros. Se denomina suelo maduro al que presenta el perfil completo (suelo evolucionado).

- **El horizonte A.** Es la capa más superficial, fácilmente reconocible por su color oscuro debido a que es la más rica en materia orgánica. Su espesor es variable y depende del grado de erosión y del clima predominante.

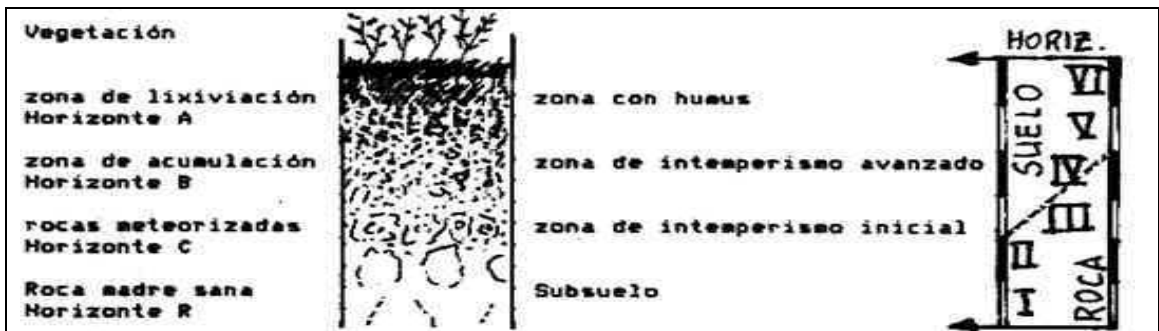


Figura 42. Perfil de un suelo: los horizontes reflejan una anisotropía vertical, cuyas características están bien determinadas. En geotecnia, los horizontes se denominan con números romanos de abajo hacia arriba, siendo I la roca sana y VI el suelo orgánico, como aparece a la derecha. Adaptado de Juan Montero, curso de geología, U. Nal.

El horizonte A presenta uno u otro de los caracteres siguientes o ambos al mismo tiempo: a) presencia de materia orgánica y b) empobrecimiento de constituyentes, tales como arcilla, hierro, aluminio, etc. Además, puede mostrar unos subhorizontes que se superponen de arriba abajo cuando están presentes simultáneamente en el perfil, así: A_{00} , un horizonte de superficie formado por residuos vegetales fácilmente identificables; A_0 , un horizonte constituido de restos vegetales, parcialmente descompuesto y prácticamente irreconocibles sobre el terreno; A_1 , un horizonte que normalmente contiene menos del 30% de materia orgánica bien mezclada con la parte mineral y de color generalmente oscuro; A_2 , un horizonte de color más claro que el anterior,

empobrecido en hierro, arcilla y aluminio y con una correlativa concentración de minerales, y el horizonte A₃, que es de transición

- **El horizonte B.** Es la capa que se encuentra inmediatamente debajo de la capa A; es de un color más claro y de un espesor variable, dependiendo del grado de desarrollo del perfil. Se puede considerar esta capa como de transición. Normalmente contiene más arcilla y óxidos de hierro que los estratos A y C. El material lixiviado se acumula en este horizonte y genera problemas de actividad en los suelos, lo que lo constituye en un problema como estructura de fundación.

El horizonte B es claramente diferenciable por su estructura, color y componentes, resultando diferente de la roca madre y con los minerales primitivos profundamente alterados o transformados. El horizonte B se subdivide en tres, así, el B₁ que es de transición con A pero más parecido a B que a A, el B₂ que constituye la parte esencial de B y que corresponde ya sea a la acumulación principal o bien al desarrollo máximo de la diferenciación, y el B₃ un horizonte de transición con C, pero más parecido a B que a C.

- **El horizonte C.** Es la capa más profunda del perfil y constituye lo que se conoce como material parental, cuyo color puede ser rojo, amarillo, gris, etc., colores que dependen del grado de alteración y composición de la roca original. Se compone de trozos de roca suelta ligeramente meteorizados.

Este se define como horizonte mineral distinto de la roca inalterada y relativamente poco afectado por los procesos edafogénicos que llevaron a la individualización de los horizontes A y B, subyacentes.

- **El horizonte R.** En la base del conjunto estaría el horizonte R, que es la roca no alterada situada bajo el

perfil y que puede perfectamente no ser la roca madre del suelo o serlo sólo parcialmente.

En Colombia son frecuentes las bauxitas y lateritas, que son depósitos residuales formados bajo condiciones muy calientes y húmedas. Las bauxitas contienen óxidos de aluminio hidratados y las lateritas óxidos de hierro hidratados.

8.6.3 Estructura y textura de los suelos. En el horizonte A del suelo predomina la fábrica textural.

En el horizonte B hay equilibrio entre textura y estructura. En el horizonte C predomina la fábrica estructural. Los horizontes A₀₀ y A₀ son suelo residual incompetente para fundaciones, donde no se reconoce la macrofibra de la roca.

Los horizontes A₁, A₂ y A₃ son roca completamente meteorizada donde se conservan los rasgos de la roca. Estos son los horizontes VI y V, yendo de la superficie hacia abajo. En ellos la estabilidad está gobernada por la fábrica textural.

El horizonte B₁, y en ocasiones B₂, muestra roca altamente meteorizada con fragmentos desmenuzables. Este es el horizonte III donde el suelo predomina sobre la roca. El horizonte B₃, y en ocasiones B₂, muestra roca moderadamente meteorizada con fragmentos no desmenuzables. Este es el horizonte IV, donde la roca predomina sobre el suelo.

El horizonte C muestra en la parte superior roca débilmente meteorizada y en la parte inferior roca fresca competente para fundar. Se requieren explosivos para excavar este horizonte. Estos son los horizontes V y VI respectivamente, en los que predomina la fábrica estructural.

La roca como material primario de los suelos tiene un alto grado de variabilidad, la que se manifiesta en las características físicas, químicas y estructurales de los suelos. Así, si un granito da origen a suelos arenosos, el basalto, a suelos arcillosos. En el primer caso predomina el cuarzo y la acidez del suelo, y en el segundo disminuyen, dando paso al hierro, al aluminio y a los minerales básicos. Estructuralmente, los agregados de partículas de suelo, en los que participan arenas, limos y arcillas, se forman merced a la arcilla y la materia orgánica que actúan como cementantes de los "terrones".

De la proporción de partículas finas en el suelo, se crearán condiciones más o menos favorables para el movimiento de agua capilar, existirá o no un buen drenaje del suelo y se tendrá un suelo de relativa plasticidad, nivel de cementación y porosidad.

La fertilidad del suelo, es decir, la presencia de elementos nutrientes para las plantas, depende no sólo de la roca madre, y minerales presentes, sino de los niveles de alteración que alcancen. La fertilidad, se puede traducir en productividad si las condiciones físicas y químicas garantizan elementos nutritivos abundantes al alcance de las plantas. Los suelos arcillosos, de pobre aireación, de capa freática alta y fluctuante, crean dificultades para el buen desarrollo radicular.

La textura del suelo se refiere a la proporción en que se encuentran las partículas finas, pudiendo ser el suelo arenoso y suelto, el que por regla general es liviano; franco-limoso, suelo que por regla general resulta entre liviano y pesado, y suelo arcilloso, el que resulta pesado en razón de su densidad.

8.6.4 Proceso de degradación del suelo. Las arcillas son minerales secundarios derivados de aluminosilicatos, o también roca clástica y suelta, que además de minerales de arcilla tiene cuarzo sin brillo, con constitución terrosa y

que al admitir agua se vuelve plástica. Como mineral puede ser principalmente caolinita, illita o montmorillonita, salvo cuando está en procesos de formación amorfa.

Del proceso de meteorización de los silicatos y la acción del H_2CO_3 , se obtienen minerales de arcilla y otros que dependen de la roca madre, del deslave de bases y del clima, principalmente, así: cuarzo y micas de los que posteriormente se deriva sílice en solución; carbonatos de Na, Ca y K, de los que posteriormente se obtiene la calcita, y carbonatos de hierro y magnesio, de los que se deriva la limonita y la hematita.

8.6.5 El color en los suelos. El color tiene importancia desde el punto de vista agronómico. La buena aireación se puede relacionar con la porosidad. Si es reducida, se dificulta la oxidación presentándose el hierro ferroso Fe^{++} de color gris, el que al oxidarse pasa a hierro férrico Fe^{+++} de color rojo.

- **El color negro.** Es debido al humus, y se debilita a medida que se oxida la materia orgánica. En suelos arenosos aumenta el aire con la labranza dándose la oxidación y desgaste que explica el debilitamiento del negro. Pero no siempre el negro se explica por humus. Existen pizarras, como las de la formación Villeta, o suelos con manganeso presente como los derivados del piso Guaduas.

- **El color rojo.** Se explica por hierro férrico no hidratado, compuesto que pone en evidencia un drenaje y aireación buenos. Contrariamente, el color amarillo se relaciona con el óxido de hierro férrico pero hidratado, anunciando humedad o mal drenaje.

- **El color gris.** Se explica por hierro no oxidado, es decir, óxido de hierro ferroso; puede tener variaciones que llegan hasta el azul. Si la tonalidad es gris, parda o amarilla, dentro de la zona de fluctuación del agua freática, falta drenaje y la aireación es poca o nula.

Estos colores grises y moteados son frecuentes en suelos de topografía plana o en hondonadas donde el agua se acumula. De presentarse en laderas, donde el drenaje se facilita, sólo se explicarían por procesos de oxidación del material que da origen a esa tonalidad.

- **La materia orgánica.** Es el conjunto de los productos de origen biológico del suelo que en unos cuantos años y bajo climas medios, evoluciona químicamente a humus. Acto seguido el humus se mineraliza lentamente descomponiéndose el 1% de su masa cada año en compuestos químicos simples como el CO_2 y el NH_4 . Así, el humus es una fuente de nitrógeno por lo que resulta de utilidad conocer la cantidad total de humus de un suelo y la relación carbono/nitrógeno del humus. El humus y la arcilla del suelo, son coloides electronegativos.

8.6.6 Factores de evolución y formación de los suelos.

- **El material Parental.** La porosidad, la permeabilidad, la constitución, etc., de la roca madre. La roca subyacente determina buen número de las características de los suelos y sobre todo de los suelos jóvenes, mientras los horizontes superficiales se forman a partir de materiales de aporte, ajenos a la roca subyacente. Las propiedades químicas del material tienen una gran influencia sobre la evolución del suelo. Los suelos formados sobre rocas ricas en bases a menudo presentan arcillas tipo illita o montmorillonita, son ricos en humus y más fértiles, mientras las rocas ácidas pueden dar origen a suelos con arcilla tipo caolinita o vermiculita, en general más lixiviados y más pobres que los anteriores.

- **Tiempo** (cronológico). Se puede hablar de suelo maduro o joven, pues el clímax en la formación de un suelo demanda de decenas a miles de años. La duración puede intervenir como un factor de diferenciación, de tres maneras: a) las propiedades del suelo varían en función de la hora (temperatura, contenido de CO_2 atmosférico y actividad de

elementos vivos. b) En función de la estación, el contenido de agua, de nitrógeno nítrico, el pH, etc. c) Por último, en el transcurso de los años, pues un suelo pasa por las fases de juventud, madurez y senilidad. Además el clima de la Tierra cambia a largo plazo.

- **Topografía.** Porque de divisorias, vaguadas, valles y pendientes del terreno, depende su drenaje y la orientación de la ladera, siendo más favorable la que recibe el Sol matutino. Además en los flancos de los valles los espesores son menores que en las mesetas y hondonadas. No debe olvidarse que la topografía es a la vez una manifestación particularmente evidente de variaciones de edad, clima y roca.

- **Formadores biológicos.** La microflora y la microfauna son fuente de humus y la dependencia suelo-fauna, resulta vital para la acción bacteriana. Algunos de estos seres son los transformadores iniciales de la energía química para la evolución del suelo y otros utilizan parcialmente esta energía para transportes que modifican el suelo. Los animales provocan transporte de materia y contribuyen a la transformación de la materia orgánica, mientras los vegetales actúan mediante la subida de los cationes extraídos por las raíces y concentrados en la superficie; además la planta protege el suelo contra elementos atmosféricos, sintetiza las materias orgánicas gracias a la luz solar y tiene efectos mecánicos y químicos por el crecimiento y la acción de las raíces.

- **Clima.** De la temperatura y del balance hídrico dependerá la velocidad e intensidad de acciones de las reacciones químicas típicas del intemperismo químico. Cuando los factores climáticos son mínimos como en los desiertos fríos o en los desiertos cálidos y secos, el suelo no evoluciona. Sobre una misma roca varía el suelo con el clima, así: en las zonas frías del norte de Europa y sobre un granito existen suelos poco desarrollados; en Francia, bajo un clima templado húmedo, encontramos suelos lixiviados, y en

Costa de Marfil bajo un clima tropical húmedo existe un suelo ferralítico.

8.6.7 Clases de suelos. Se pueden distinguir trece clases de suelos, de las cuales se darán indicaciones generales sobre procesos de formación, principales variaciones y posibilidades de utilización.

- **Suelos minerales brutos.** Comprende suelos de desiertos calientes y de desiertos fríos. La falta de evolución puede ser debida a causas climáticas. Estos suelos pueden ser suelos con minerales brutos organizados y no organizados y pueden ser suelos con minerales brutos blandos o macizos y compactos.

- **Suelos poco evolucionados.** Comprenden suelos no climáticos, climáticos y orgánicos. Esta clase agrupa los suelos en los cuales la alteración de los minerales primarios queda limitada y la diferenciación de los suelos es poco discernible, salvo la del horizonte superficial humífero. Es evidente que no existe horizonte B por lo que el perfil es del tipo A C.

- **Vertisoles.** Son suelos de regiones cálidas bastante húmedas con prolongada estación seca. Tienen color muy oscuro no por materia orgánica sino por su forma de fijación sobre la arcilla, la que siendo expansiva en proporción supera el 30%. Durante el período seco el suelo se agrieta y los pequeños poliedros caen dentro de las grietas de contracción. En estado húmedo los vertisoles son plásticos y pegajosos.

- **Andosoles.** Están asociados a materiales volcánicos (tefras). Son suelos muy negros, friables y caracterizados por la abundancia de productos amorfos en su fracción mineral. Su densidad aparente es baja (0,8) pero el contenido de agua del suelo in situ puede alcanzar el 200%. Presentan propiedades tixotrópicas muy destacadas, pH ácidos (4 a 6) y materia orgánica estable.

- **Suelos calcimagnésicos.** Su génesis está dominada por la presencia de carbonatos y sulfatos de calcio y magnesio. Están asociados a rocas calcáreas, dolomíticas o yesosas. Si el suelo es cálcico, el perfil es de poco espesor y tipo A-C, generalmente. En climas muy húmedos templados los suelos sobre calizas duras son ácidos. A menudo los suelos calcimagnésicos son deficitarios en nitrógeno a pesar de un buen contenido de humus y son pobres en fósforo asimilable porque este elemento se encuentra precipitado en forma insoluble.

- **Suelos isohúmicos.** El contenido de materia orgánica decrece con la profundidad, pero se mantiene considerable. Es un humus de estepa rico en nitrógeno y ácidos húmicos grises. Su vegetación es a veces de gramíneas y otras de arbustos. En ellos es intensa la actividad biológica; la arcilla se presenta estable acumulándose ligeramente en profundidad, donde se concentra también la caliza. La definición y clasificación de estos suelos plantea el máximo de problemas en las regiones de clima caliente.

- **Suelos empardecidos.** Comprende los suelos lixiviados y los suelos pardos. Estos suelos evolucionan bajo la acción de una materia orgánica que se descompone rápidamente, generando compuestos insolubles que afectan la arcilla y forman agregados relativamente estables. El hierro se libera parcialmente bajo la forma de hidróxidos que se unen a la arcilla y al humus. Son suelos típicos de regiones templadas y a veces de climas calientes semihúmedos.

- **Suelos podsolizados.** En regiones de temperatura media bastante baja, a menudo con invierno muy frío y abundantes precipitaciones, bajo bosque de coníferas, los suelos presentan en superficie un horizonte de humus muy tosco y en profundidad un complejo enriquecido con humus pardo oscuro mezclado con materia mineral y sesquióxidos de hierro, ocre orín y aluminio de alteración. Aunque

generalmente son suelos profundos, los que son ácidos y tienen humus muy burdo son muy poco fértiles.

- **Suelos con sesquióxidos metálicos.** Esencialmente en los trópicos y zonas mediterráneas hay suelos rojizos y pardos, ricos en sesquióxidos metálicos de hierro e incluso aluminio y magnesio. Exhiben concreciones metálicas y caparazones endurecidos. Esta excepcional riqueza de sesquióxidos se debe a una alteración muy apurada de los minerales de la roca bajo la influencia de un clima suficientemente caliente y húmedo, en presencia de materia orgánica, que se descompone rápidamente.

- **Suelos fersialíticos.** Comprende suelos rojos y pardos fersialíticos y suelos ferruginosos tropicales. Son suelos con sesquióxidos de hierro, un humus muy evolucionado y presencia de un complejo arcilloso de illita dominante con caolinita y montmorillonita e incluso vermiculita. Son ricos en goethita, hematita y complejos de hierro-sílice. Los ferruginosos tropicales son muy ricos en hierro libre y se forman en clima tropical semihúmedo con larga estación seca y en ambiente de sabana arbustiva o arbórea. Se dan en ambientes a temperaturas entre 20 y 25 °C y bajo precipitaciones de 1000 a 1500 mm anuales, mientras los fersialíticos se forman en climas con temperaturas entre 13 y 20 °C y precipitaciones entre 500 y 1000 mm anuales.

- **Suelos ferralíticos.** Estos suelos que presentan acorazamiento, se dan en climas con temperaturas entre 25 °C y la máxima y precipitaciones de más de 1500 mm. En el trópico bajo sabana, el suelo más frecuente es de tipo ferruginoso, por el clima, pero bajo bosque, casi siempre el ferralítico es el más abundante, es más profundo y coloreado, con mejor estructura y más friable. Los suelos ferralíticos se forman por la rapidísima descomposición de la materia vegetal, la acelerada alteración de los minerales de la roca madre y el elevado arrastre de bases y sílice. Forman tierras profundas, salvo en regiones tropicales suficientemente húmedas donde se presenta el

acorazamiento por la liberación de óxidos e hidróxidos hierro, manganeso, aluminio, etc.

- **Clase de suelos hidromorfos.** Los fenómenos de excesos de agua en el suelo se pueden producir en suelos muy diversos. Ello supone un déficit de aireación que dificulta la oxidación y facilita la reducción microbiana. El hierro y el magnesio son más solubles en estado reducido y migran al interior del perfil formando concreciones, caparazones o manchas de color vivo. También migran todas las sales solubles mientras la materia orgánica se oxida lentamente para transformarse en turba.

- **Clase de suelos salsódicos.** Las sales solubles aumentan la presión osmótica y son principalmente cloruros, sulfatos y carbonatos de sodio, magnesio, calcio y menos frecuente, de potasio. Las sales solubles aumentan la conductividad de la zona saturada y el suelo se hace salado manifestándose su estado en la vegetación. El sodio, extremadamente móvil se fija sobre el complejo arcilloso degradando su estructura que se hace difusa.

En presencia de agua dulce la arcilla sódica se hidroliza y el horizonte superficial se convierte en un barro pero en la de agua salada o cuando el suelo se seca, la arcilla se flocula tomando una estructura prismática o cúbica.

8.7 ZONAS RICAS DEL PAIS

Las cordilleras andinas son jóvenes y sus suelos no tienen la madurez ni la estabilidad de los suelos de la plataforma africana. Una hectárea en la sabana de Bogotá es 24 veces más productiva que una hectárea promedio en los llanos, suelos, estos últimos, lateríticos (oxidados). Igualmente los del Chocó están lixiviados por las intensas lluvias. De estas dos regiones sus suelos tendrán vocación para la ganadería extensiva, para la agricultura de subsistencia y

para la silvicultura. En la zona andina se demandan prácticas para un uso y manejo adecuados de sus suelos inestables pero productivos.

En fuertes pendientes, si el uso es agricultura, se deben evitar cultivos rotativos y en algunos deberá tenerse en cuenta prácticas de conservación (bosques, productores y no productores).

Por su alta productividad, en Colombia sobresalen las siguientes regiones:

Valle del Cauca (desde Cartago hasta Cali).

Valle del Magdalena (alto, medio, bajo).

Valle del Sinú y San Jorge (unidad que incluye a Urabá).

Altiplano Cundiboyacense (incluye la sabana).

Región entre Túquerres e Ipiales.

Zona Cafetera (desde Caicedonia a Andes).

Región entre San Félix y Roncesvalles (incluye a Murillo y Marulanda).