



José Ramón Martínez Batlle

# GEOMORFOLOGÍA (GEO-114)

## Tema 3. Meteorización y formas resultantes

# ÍNDICE

- Meteorización
- Tipo de meteorización
  - Física
  - Biológica
  - Química
- Formas resultantes

# METEORIZACIÓN

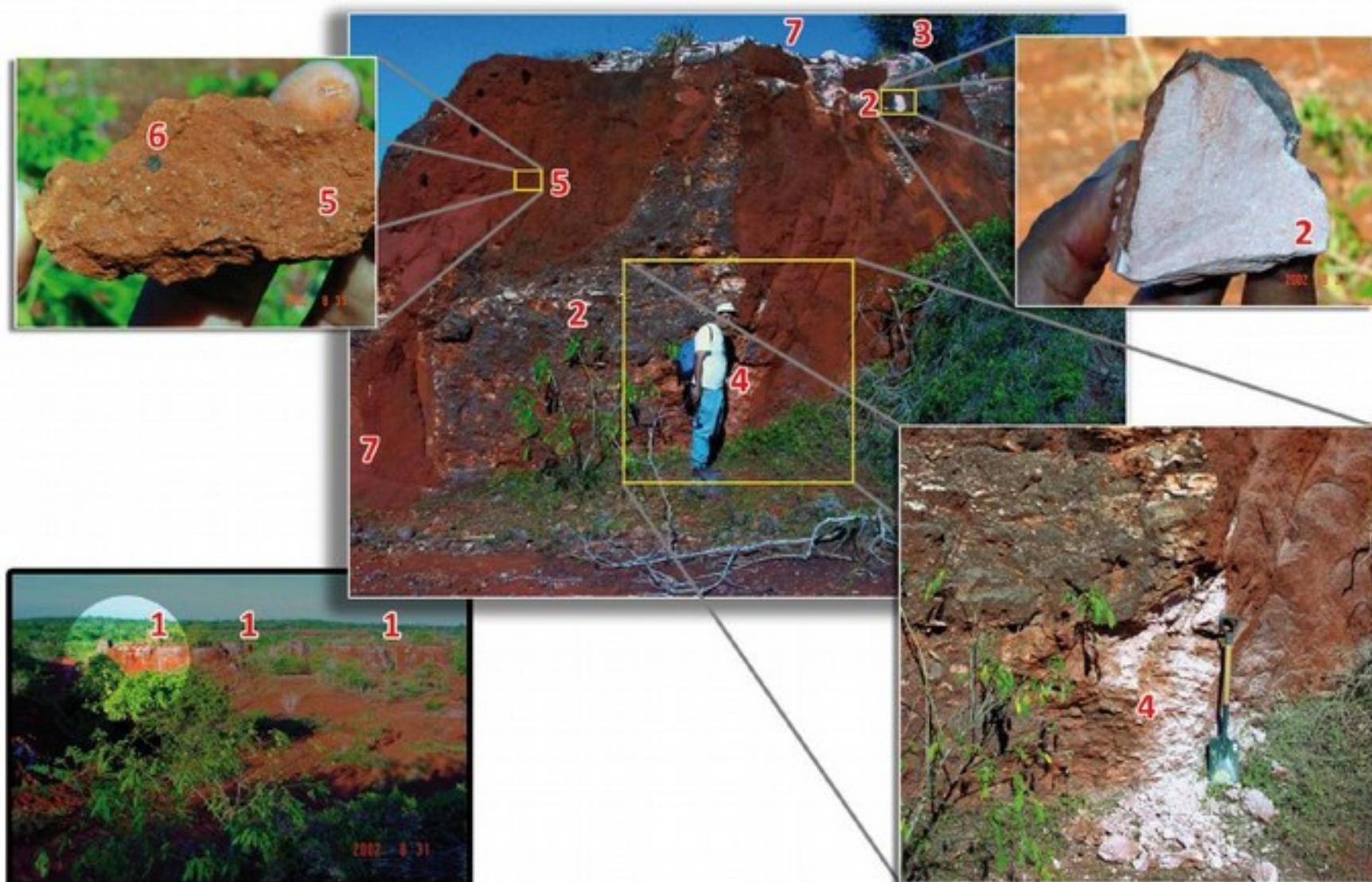
- Respuesta de los materiales que estaban en equilibrio dentro de la litosfera a condiciones en o cerca de su contacto con la atmósfera, hidrosfera y, quizá todavía más importante, la biosfera (Reiche, 1950)
- Conjunto de procesos que alteran los materiales próximos a la superficie; el resultado es una capa móvil de materiales derivada del sustrato (roca de origen), la cual es permeable al agua y los gases, que acoge los organismos vivos y que puede ser transportada por procesos geomorfológicos (Anderson y Anderson, 2011)

# METEORIZACIÓN

- Las rocas, al aflorar en superficie, tienen que buscar equilibrio con presiones de 1 atmósfera, temperaturas mucho menores y presencia de aire y agua (contacto litosfera-atmósfera)
- Algunos procesos mecánicos de meteorización fragmentan las rocas
- La actividad química altera los minerales
- La acción biológica afecta a las rocas desintegrándolas tanto física como bioquímicamente.

# METEORIZACIÓN

- El resultado es la generación de una película superficial de alteración
- Dado que esta película superficial (es como la epidermis del planeta) es muy importante para la humanidad, ha sido denominada como la «zona crítica» (Consejo Nacional de Investigación de EE.UU, 2001)



**Figura 7-53.** Descripción del pedimento Las Mercedes. En cartela inferior izquierda, bloque conservado mostrando los pináculos (1) en la caliza Pedernales (2), con *rundkarren* a techo (3). Parte de la cobertura ha sido extraída; bajo ésta, y sobre la caliza, progresó una alteración isovolumétrica de aspecto micrítico (4). Las alteritas que componen la cobertura son: “tipo 1” (5), limosa con pisolitos (6) y microcristales, aparentemente alóctona; “tipo 2” (7), arenosa, aparentemente autóctona. Ver detalles en el texto (JRMB, 31/08/2002)



Figura 7-51. Pedimento Las Mercedes. 1) Bloque conservado, exhumado por las operaciones de la minera Alcoa, mostrando un criptorrelieve en pináculos. 2) Bloque basculado. En cartela, detalle de los pináculos (JRMB, 31/08/2002)



Figura 7-50. Depósito en el sector Guamalito, próximo a Puerto Escondido, en un glacis de acumulación distal del pedimento compartimentado Monte Palma. 1) clastos heterométricos de la caliza Neyba en matriz arenosa; 2) la micrita resultante de la alteración isovolumétrica de la caliza margosa Sombrerito. (JRMB, 04/04/2003)



**Figura 7-47. Crestas del lapiáz de *rundkarren* parcialmente desmantelado en las proximidades de la sabana de Flores Estrella. (JRMB, 03/04/2003)**



Figura 7-39. Pedimento El Aceitillar, El Bambú, vertiente S de la Sierra. Episodios locales de alteración-erosión-sedimentación. 1) sustrato; 2) alteración; 3) episodio erosivo y depósito brechoide (R. Cámara, 07/10/2004)



**Figura 7-36. Frente de meteorización ondulado (2) con poza de alteración diferencial (3), en el pedimento conservado El Aceitillar (línea naranja punteada). Los Arroyos, 1200 m. (R. Cámara, 07/10/2004)**



**Figura 7-27.** Alterita limo-arenosa con frente micrítico de alteración pelicular afectando a la caliza tableada de Neyba. Recubriendo la formación, depósito de clastos con restos de matriz roja (detalle de canchal), de la superficie corrosiva El Aceitillar. Loma El Guanito (1580 m) (JRMB, 31/08/2002)



Figura 7-26. Canchal de la superficie El Aceitillar, a 1500 m. (JRMB, 06/10/2004)



**Figura 7-25. Canchal cubriendo el depósito correlativo de la Superficie corrosiva El Aceitillar. En detalle, alterita limo-arenosa con pisolitos. Proximidades de loma El Guanito (1580 m) (JRMB, 06/10/2004)**

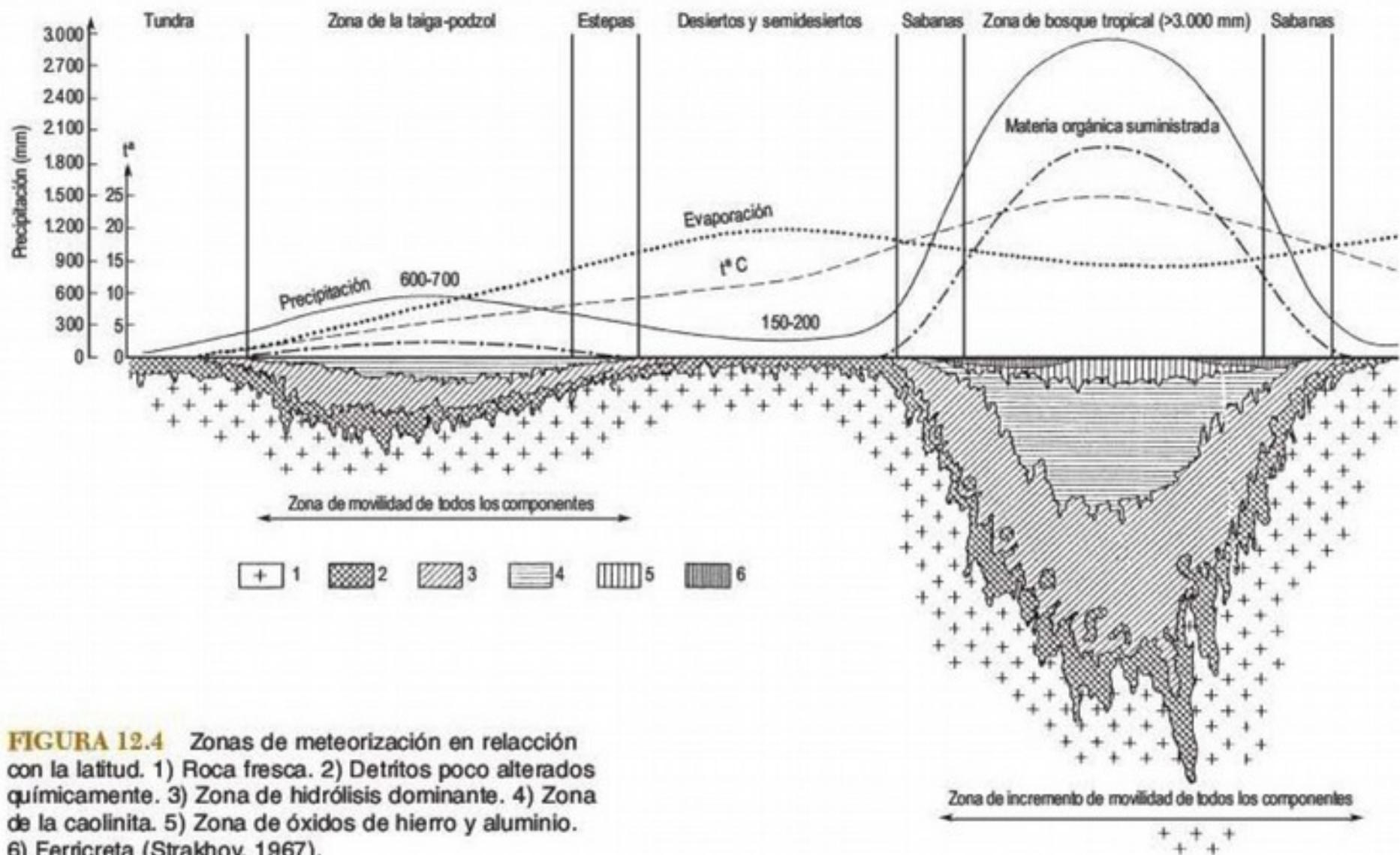


**Figura 7-22.** Superficie corrosiva Los Pinos (2200 m) mostrando restos conservados en el horizonte (1) con la topografía alomada propia de este sector, producto del retoque en karst de cúpulas. Las vertientes de enlace con aspecto de vertiente regulada (2) descienden hacia la Sabana de El Alcajé (3), un paleopolje colgado en la Superficie (JRMB, 06/10/2004)



**Figura 4-9.** Perfil de alteración con abundantes arcillas de neoformación, producto de la hidrólisis actuando sobre rocas magmáticas del Mioceno en Quebrada Bonita, Panamá. (JRMB, 02/06/2006)





**FIGURA 12.4** Zonas de meteorización en relación con la latitud. 1) Roca fresca. 2) Detritos poco alterados químicamente. 3) Zona de hidrólisis dominante. 4) Zona de la caolinita. 5) Zona de óxidos de hierro y aluminio. 6) Ferricreta (Strakhov, 1967).

# METEORIZACIÓN

- «Zonación» de la meteorización:
  - Los productos resultantes de la meteorización se reestructuran **formando minerales y rocas de «neoformación»** que, a veces, pueden ser indicadores paleoclimáticos
  - La meteorización facilita la **actuación de los procesos erosivos, ya que la carencia de la alteración debilita considerablemente la denudación**
  - En el desarrollo del **karst** es el principal agente de la generación de ese tipo de modelado

# METEORIZACIÓN

- «Zonación» de la meteorización:
  - En los ambientes fríos y polares, el ciclo hielo/deshielo es el proceso fundamental. El agua no disuelve con tanta agresividad a bajas temperaturas (salvo en las rocas carbonatadas) y la actividad biológica es menor (los procesos son más físicos)
  - En medios áridos, actúan los cambios térmicos e higroscópicos, por lo que predomina la meteorización física, aunque también existe la acción de la sal (físico-químico)

# METEORIZACIÓN

- «Zonación» de la meteorización:
  - En los medios áridos la meteorización se manifiesta por la disgregación granular, la descamación y la fracturación de las rocas. Las pequeñas oquedades en las rocas son un resultado muy habitual
  - En el trópico húmedo predomina la meteorización química con mucho lixiviado (mucho P, y pH de hasta 4 y 6). El agua hace de reactivo por excelencia. La presencia de densa vegetación, produce ácidos húmicos y fulvicos que exportan cationes en forma de organo-metales.

# METEORIZACIÓN

- Meteorización mecánica o física
  - Lajamiento (sheeting)

- Cuando los materiales han estado sometidos a mucho peso, la descompresión por pérdida de carga (en general, esto no ocurre súbitamente ni en la propia superficie), puede producir un diaclasado paralelo a la topografía que se denomina lajamiento
- Otros autores creen que se asocia a la acción conjunta de la termoclastia, meteorización química y relajamiento por pérdida de carga
- Puede ocurrir en **distintos climas**
- En las rocas no masivas, el **diaclasado podría entrar por planos de fisibilidad** de los que luego no queda evidencia. ¿?
- En granito, dos hipótesis: 1) **intrusiones gnéisicas**; 2) durante proceso de **emplazamiento** en roca caja





# METEORIZACIÓN

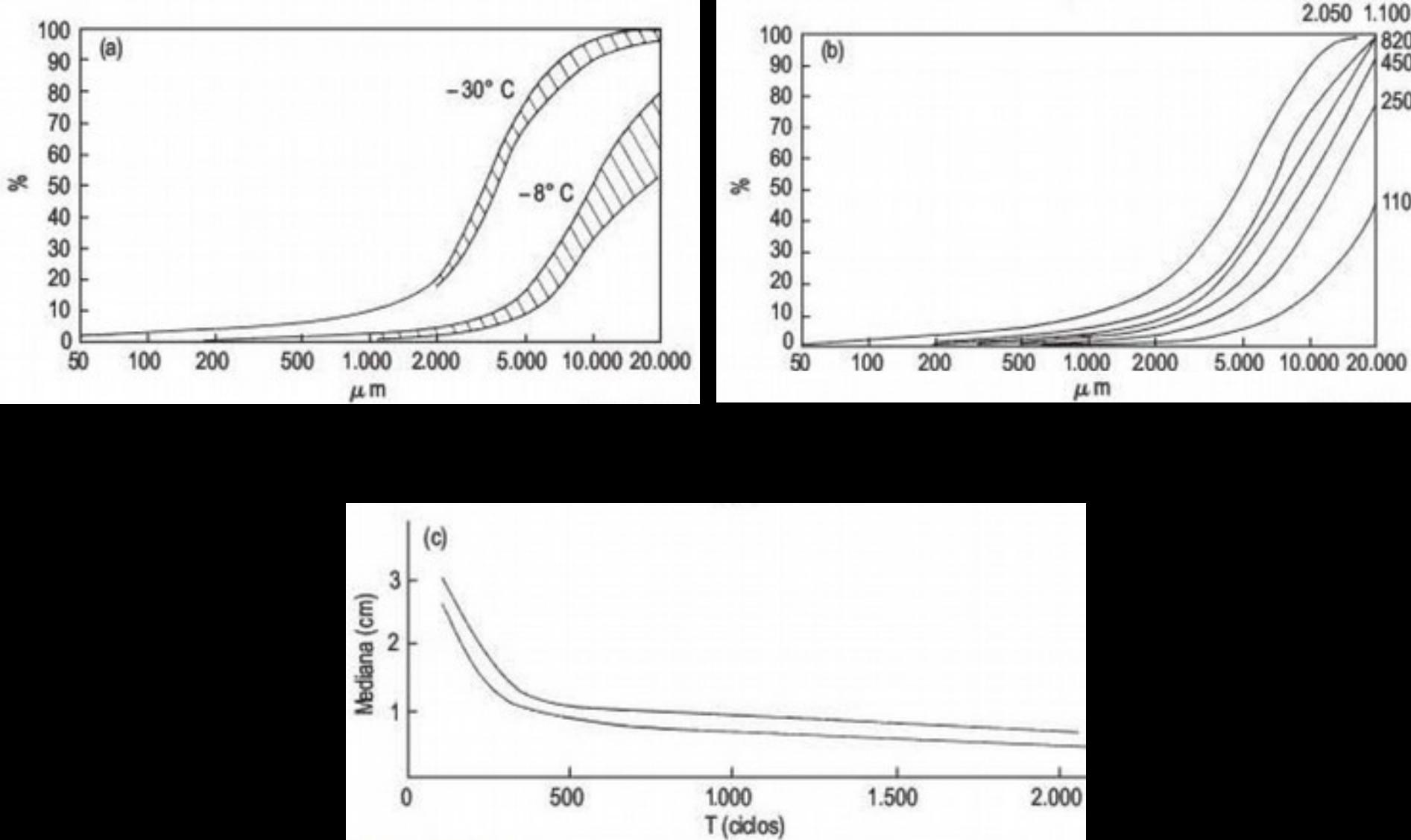
- Meteorización mecánica o física

- Crioclastia (gelivación, gelifracción)

- El agua aumenta **9%** su volumen, y la tensión rompe la roca
    - Alteración pelicular: la vegetación protege a la roca, y el viento impide la retención del desagregado
    - Los productos son clastos angulosos, o gelifractos
    - **Máximo efecto en primavera**, cuando el agua circula e hiela en días fríos de dicha estación. También se asocia a pre- y posnivación
    - Las tasas de denudación pueden ser altas: 0.3 mm/año hasta 2.5 mm/año
    - + desintegración pizarras, - ígneas







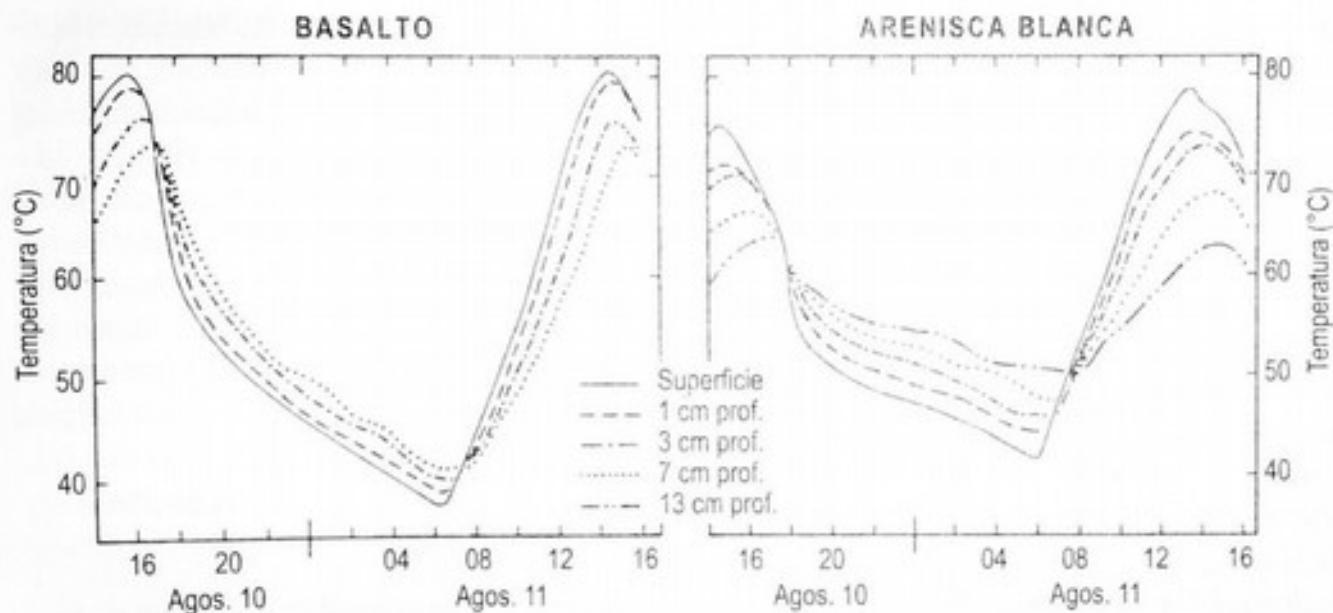
**FIGURA 5.8** Ejemplos de granulometrías de gelifractos resultantes de esquistos precámbrios de Normandía. (a) Influencia de la intensidad de la helada. (b) Cambio con el tiempo (indicado por el número de ciclos de helada a  $-18^\circ\text{ C}$ ). (c) Reducción con el tiempo de la mediana de los gelifractos (ciclos de helada a  $-8^\circ\text{ C}$ ) para las muestras B y F (modificado de Lautridou, 1988).

# METEORIZACIÓN

- Meteorización mecánica o física

- Termoclastia

- Rotura por **dilatación/contracción**
    - El calor puede provenir de **fuegos** (choque térmico) o de **radiación solar** (insolación)
    - T superficies desiertos: **82°C** Sudán,
    - Amplitud térmica: **52°C**, Atacama



**FIGURA 5.10** Variaciones de la temperatura en superficie y a diferentes profundidades para un basalto y una arenisca blanca en el Tibesti (Sahara central) (Peel, 1974).

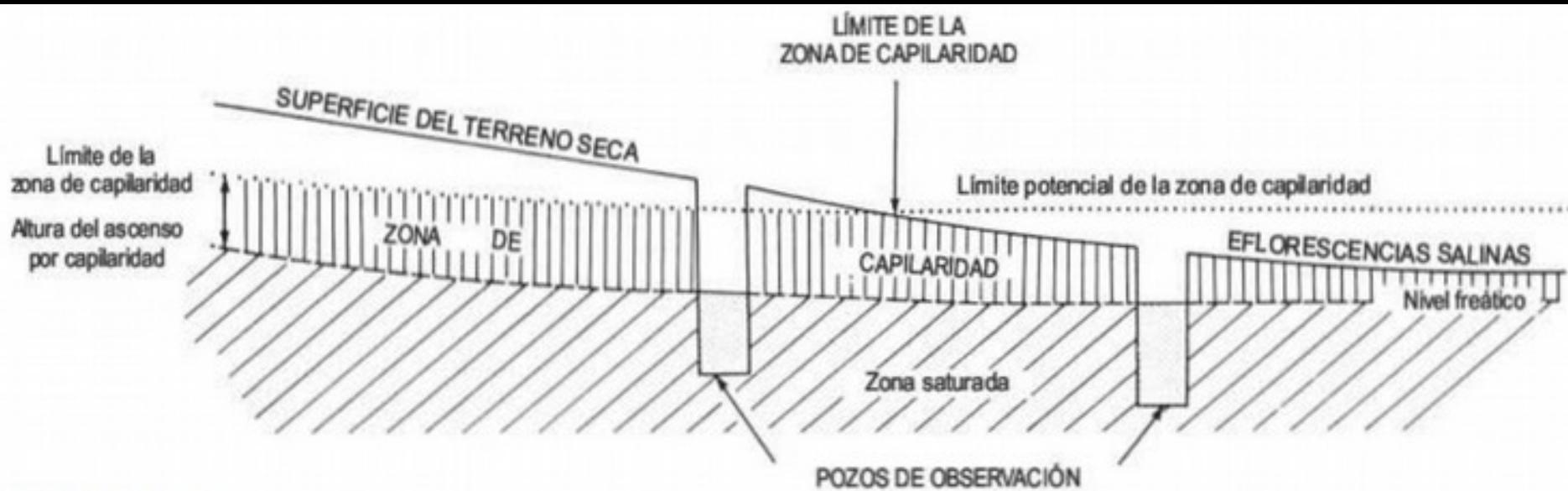
# METEORIZACIÓN

- Meteorización mecánica o física
  - Hidroclastia o hidroclastismo
    - Rotura por humedecimiento y secado
    - Hay **ensayos** que así lo comprueban, hechos por Ollier, dejando rocas bajo agua durante un día y luego secándolas al aire
    - Descamación por **planos físiles**
    - Con **5 ciclos comienza la descamación y con 10 el agrietamiento**. La desintegración completa ocurre a los **180 ciclos**
    - La **descamación depende de la polaridad de las moléculas** de agua. Agua ionizada es más disruptiva
    - En los **desiertos** la humectación ocurre por **lluvia, rocío o niebla**, y puede ocurrir un ciclo diariamente
    - La entrada del agua depende del **poro en la roca**, y el secado **depende de la temperatura**
    - En el **mundo templado**, es más común en la **solana**

# METEORIZACIÓN

- Meteorización mecánica o física
  - Haloclastia o haloclastismo

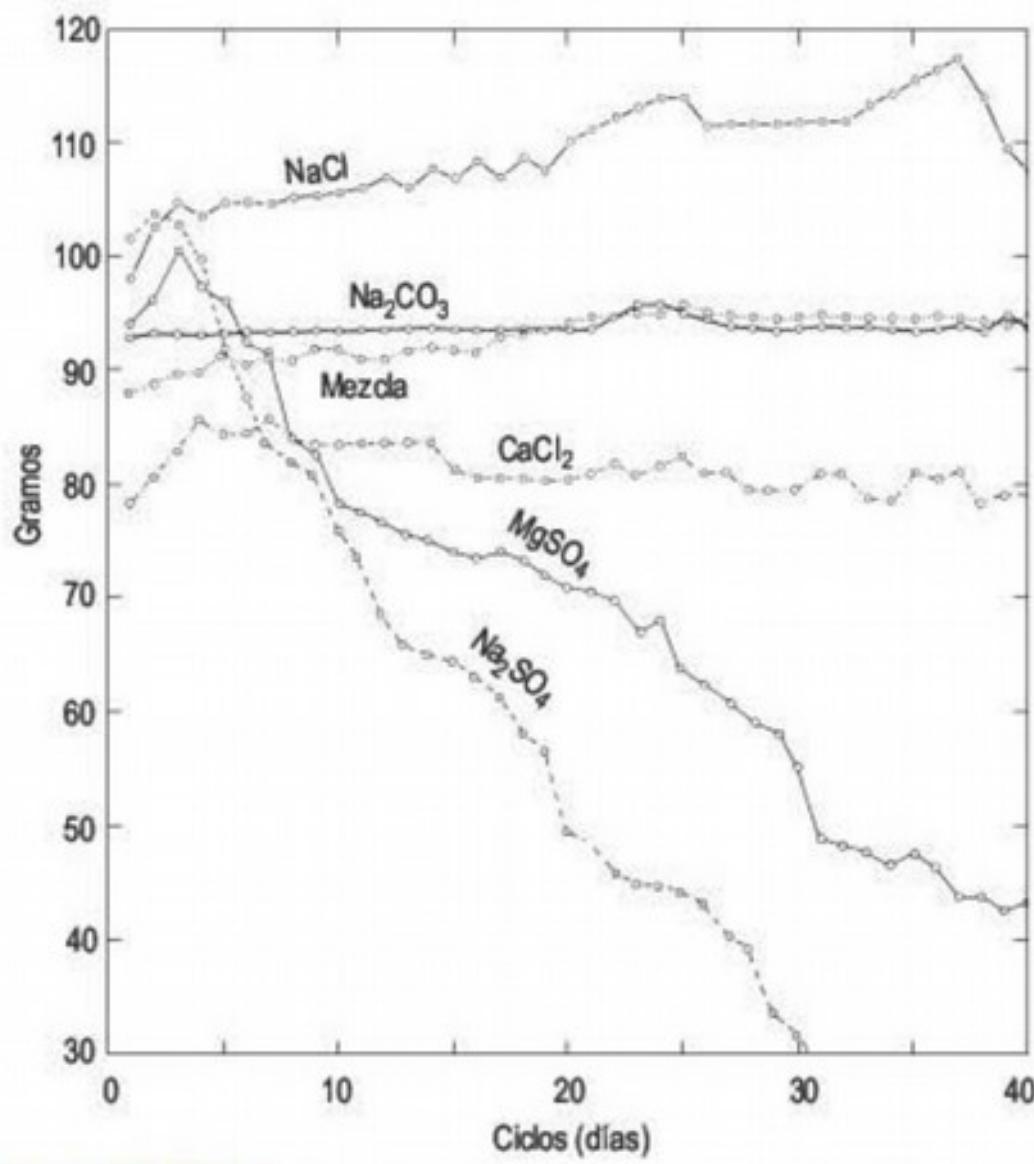
- Sales solubles en **desiertos y medios áridos**, que se depositan en poros de la roca, y los consiguientes procesos físicos y químicos que ocurren en estas, provocan cambios volumétricos
- Es más efectivo en la costa y desiertos
- Se reconocen también en climas polares
- Se estudian muchos aspectos de la haloclastia: los materiales afectados, soluciones, partículas liberadas, procesos
- La haloclastia afecta a **edificios y carreteras** (expansividad de los yesos)
- Los factores de la haloclastia son: clima, rocas, tipos de sales, procesos físico-químicos



**FIGURA 5.11** Características de la zona de capilaridad (Cooke *et al.*, 1982).



**FIGURA 5.12** Eflorescencias salinas en areniscas calcáreas miocenas de la Depresión del Ebro. El Tormillo (provincia de Huesca).



**FIGURA 5.13** Variaciones en peso de muestras de la arenisca Arden, después de ser sometida a ensayos de haloclastismo con diferentes tipos de sales (Cooke y Evans, 1970).

# METEORIZACIÓN

- Meteorización química
  - La meteorización química resulta de un cambio en el ambiente químico (Loughnan, 1969), ya que las rocas formadas en condiciones de mayores presiones y temperaturas y en ausencia de aire, se vuelven inestables al ponerse en contacto con la atmósfera
  - Los experimentos de laboratorio han suministrado un conjunto bastante dispar de datos con grandes lagunas

# METEORIZACIÓN

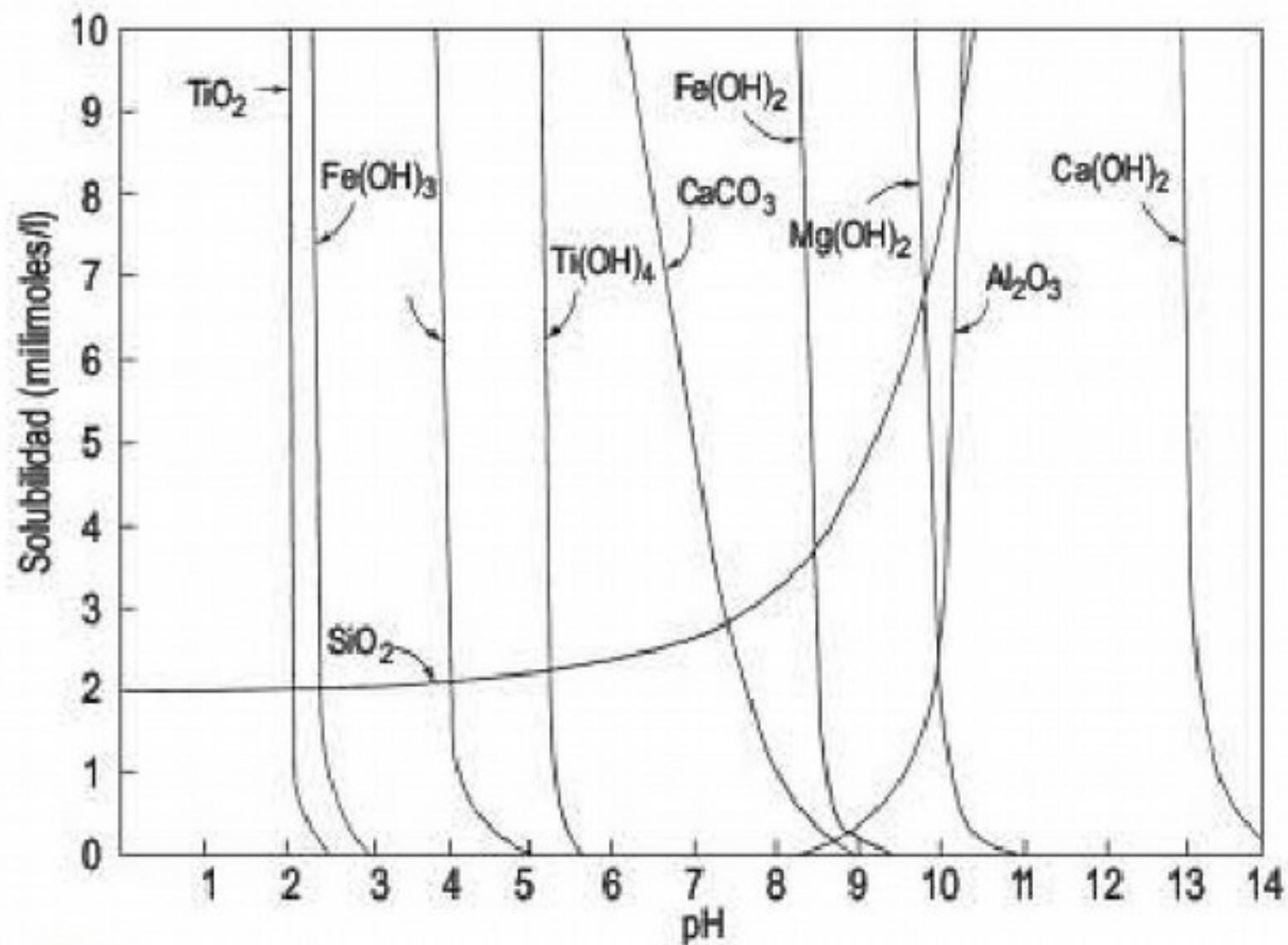
- Meteorización química
  - Permanecen sin respuesta muchas de las cuestiones relativas a las velocidades de meteorización, mecanismos cinéticos, naturaleza de los productos secundarios e importancia de la meteorización química en la evolución del modelado
  - Cuando se ponen en contacto con el agua disociada, los grupos  $\text{OH}^-$  se unen con los cationes existentes y los  $\text{H}^\pm$  con el oxígeno y otros iones negativos
  - El  $\text{H}^\pm$ , de pequeño radio iónico, puede ocupar el lugar de los cationes de la superficie del cristal y estos se liberan en forma de hidróxidos. Además, la pérdida de  $\text{H}^+$  modifica el pH de la disolución

# METEORIZACIÓN

- Meteorización química

- Minerales

- Los **silicatos** son los minerales más frecuentes:
      - Feldespatos: 30%
      - Cuarzo: 28%
      - Arcillas, micas: 18%
      - Calcita y dolomita: 9%
      - Otros: resto
    - La liberación de cationes es la base de todo proceso de meteORIZACIÓN química
    - Las aguas naturales tienen generalmente un **pH de 4 a 9**
    - **Sodio y potasio son solubles en cualquier solución**
    - **Hidróxidos de calcio y magnesio se solubilizan en aguas naturales**
    - **No son solubles en aguas naturales los óxidos de titanio y aluminio, ni el hidróxido férrico ( $\text{Fe(OH)}_3$ )**
    - **Los hidróxidos ferrosos ( $\text{Fe(OH)}_2$ ) y el carbonato de calcio sí son solubles en aguas naturales**



**FIGURA 5.22** Solubilidad con respecto al pH de algunos componentes liberados por meteorización química (recopilado de varios autores por Lougnan, 1969).

# METEORIZACIÓN

- **Meteorización química**

- **Mecanismos básicos**

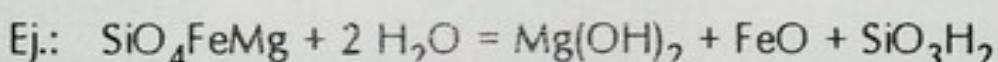
- El potencial redox (Eh) es importante para la movilización del hierro
    - Los principales factores que afectan al Eh en los ambientes de meteorización son la accesibilidad de oxígeno atmosférico y la presencia o ausencia de materia orgánica (oxida y desprende CO<sub>2</sub>)
    - Por eso, en estos medios el hierro se encuentra en estado ferroso y está en relación con el horizonte gley, originado en áreas húmedas carentes de drenaje.

# METEORIZACIÓN

- **Meteorización de silicatos**
  - **Mecanismos básicos**

- El **cambio iónico** o **hidrólisis** es la reacción de **cambio catiónico que origina la progresiva destrucción de los minerales**, sobre todo de los silicatados
- Es más una **hidratación, carbonatación y cambio catiónico** (reemplazo de cationes por H<sup>+</sup>). Puede considerarse tal que:

reacción inversa a la de ÁCIDO + BASE = SAL + AGUA. Esto es:  
mineral silicatado + agua = óxido o hidróxido + ácido silícico  
(equivalente a la sal) (base) (ácido)



Esta reacción es una desilificación total, pudiendo producirse otras parciales, según el ambiente. Así: mineral silicatado 1 + agua = mineral silicatado 2 + ácido silícico + (óxido, hidróxido o carbonato). El mineral silicatado 1, es más complejo que el 2, y así, en sucesivas etapas, llega a la desilificación total. Las etapas más comunes son: bisialitización, monosialitización y alitación (ver figura 5.3).

# METEORIZACIÓN

- Meteorización química
  - Mecanismos básicos

- La quelación es la formación de estructuras entre un ión metálico y un agente complejo que lo traba o envuelve.
- En general, este agente es materia orgánica derivada de las plantas, que puede llegar a extraer determinados iones del suelo y atraparlos en su complejo

# METEORIZACIÓN

- Meteorización química
  - Mecanismos básicos

- Hidratación, adición de moléculas de agua a la estructura de un mineral, lo cual comporta cambios químicos en la misma.
- El **agua** se introduce fácilmente en las estructuras cristalinas de las **arcillas expansivas**
- También **aumenta de volumen** la transformación de anhidrita ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ) en yeso ( $\text{SO}_4\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$ )
- Ésta puede implicar **variaciones de volumen y solubilidad**

# METEORIZACIÓN

- Meteorización química

- Mecanismos básicos

- Disolución, que consiste en la difusión de moléculas o átomos de un cuerpo en las de otro
    - Lo más común son sólidos en líquidos
    - En general, implica una disociación iónica, lo que diferencia este proceso de las difusiones mecánicas
    - El ejemplo más común es la **solubilidad de la sal en agua**, pero hay otros más importantes desde el punto de vista geomorfológico, como la **solución del carbonato de calcio en el karst**

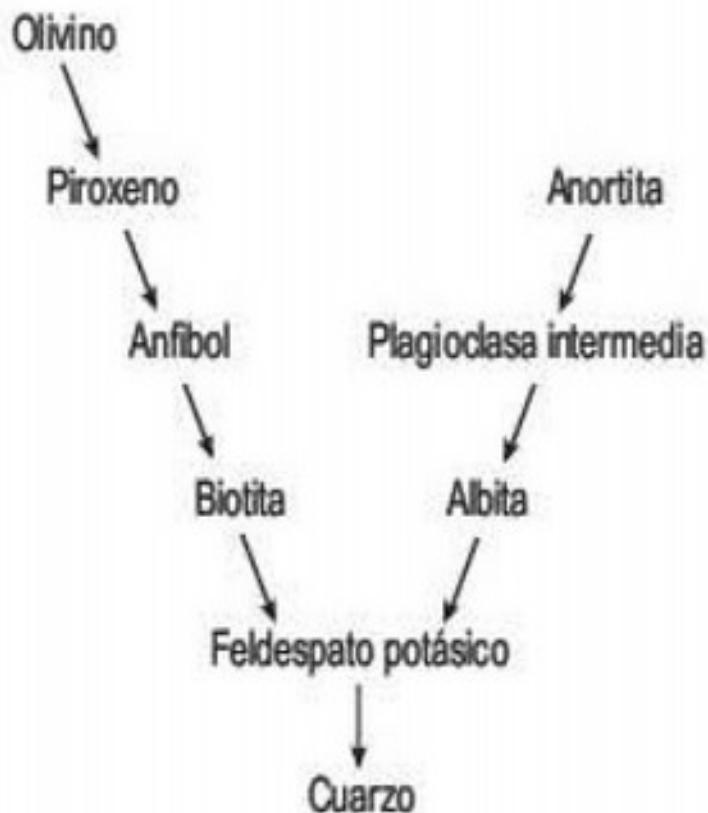
# METEORIZACIÓN

- Meteorización química

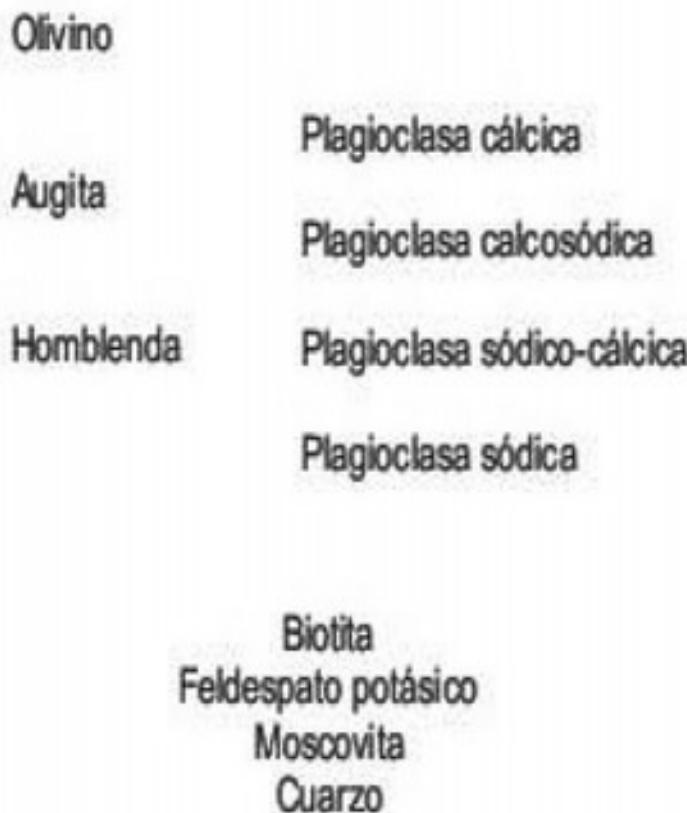
- Mecanismos básicos

- La estructura cristalina juega un papel importante en la meteorización de los minerales.
    - En la cristalización magmática, los minerales que **primero se forman son los de mayor punto de fusión**. La secuencia viene representada por las series de cristalización de **Bowen** (1928).
    - La secuencia de meteorización para los silicatos más frecuentes ha sido obtenida por **Goldich** (1938), a partir de un **estudio detallado de la meteorización** de algunas rocas ígneas y metamórficas. **La serie de Goldich es inversa de la de Bowen**, ya que los minerales más fácilmente meteorizables son los que **primero cristalizan en un fundido de silicatos**

### SERIES DE CRISTALIZACIÓN DE BOWEN



### SERIES DE METEORIZACIÓN DE GOLDICH

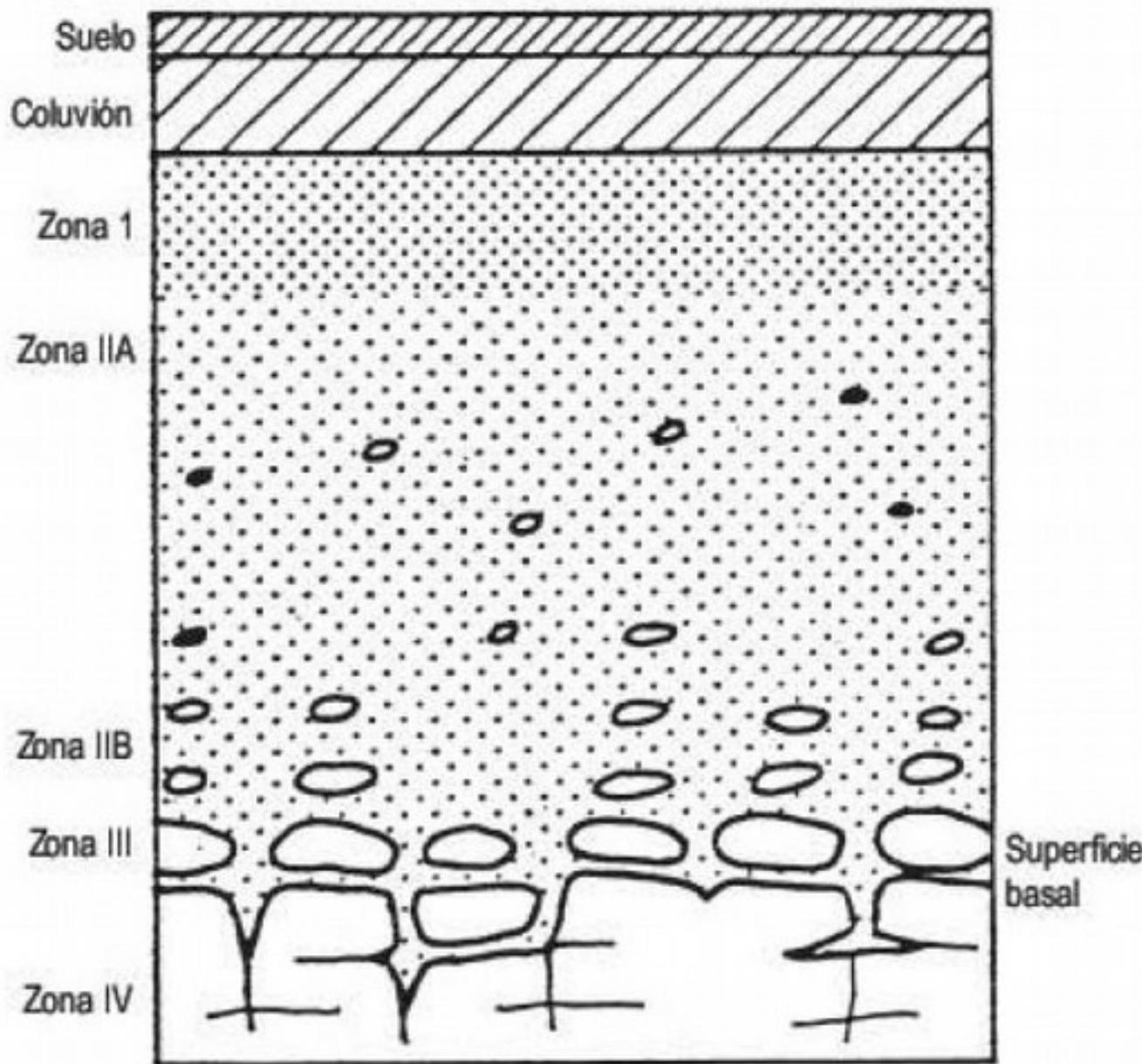


# METEORIZACIÓN

- **Meteorización química**

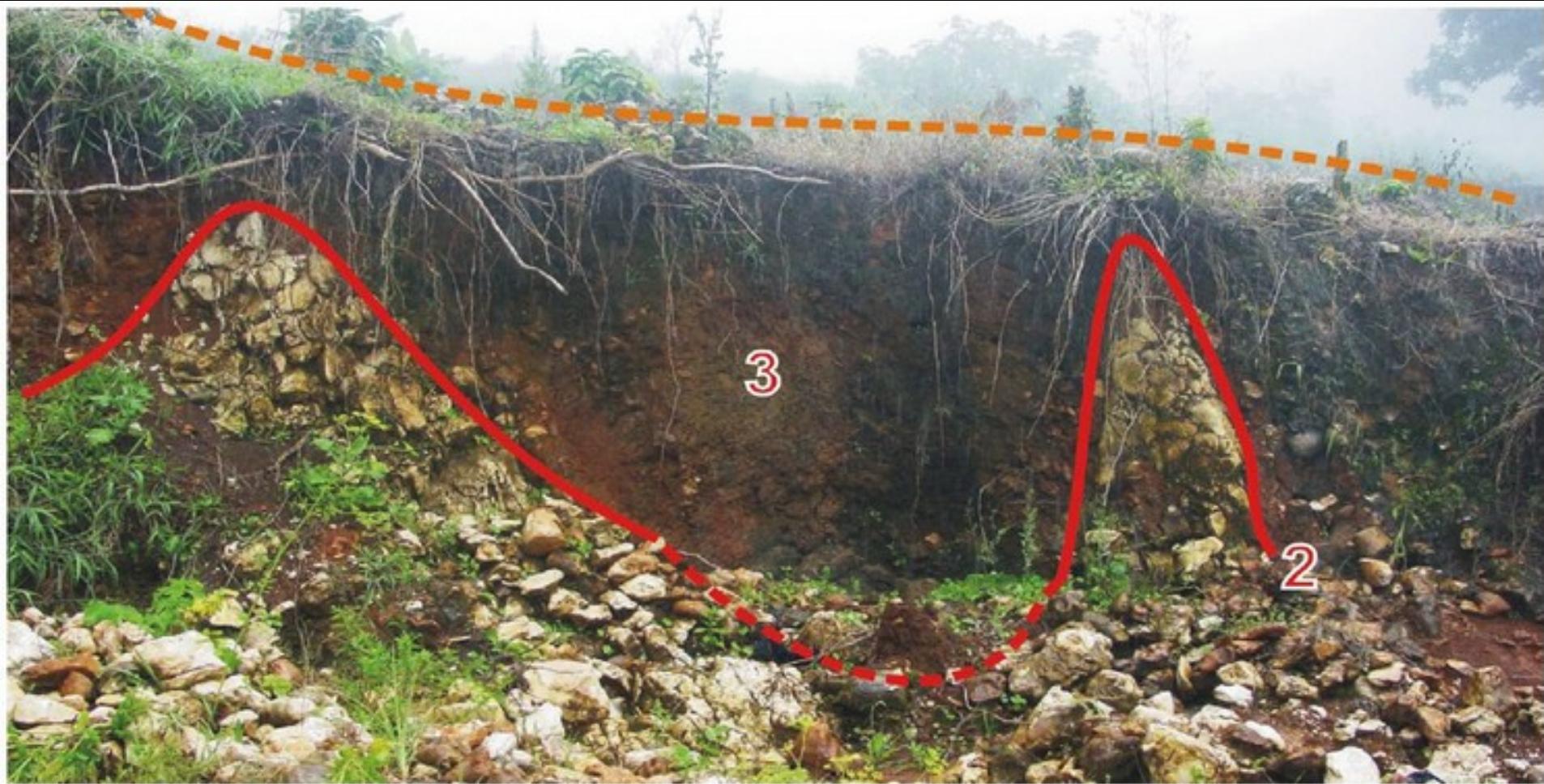
- **Perfil de meteorización**

- **Saprolito, regolito, alterita**: roca alterada *in situ*, incluyendo aquellas que han podido tener movimientos leves, pisoteo o enraizamiento. En el caso del granito, se le llama **grus** o **lem**
    - **Superficie basal de meteorización o frente de meteorización**, que es el límite entre la roca fresca y la alterada, el cual puede ser neto o difuso. Este límite suele ser dinámico, dado que la alteración profundiza de manera variable, y de ahí que se prefiera el término de «frente»



**FIGURA 5.33** Típico perfil de meteorización desarrollado en granito diaclasado (modificada de Ruxton y Berry, 1961).





**Figura 7-36. Frente de meteorización ondulado (2) con poza de alteración diferencial (3), en el pedimento conservado El Aceitillar (línea naranja punteada). Los Arroyos, 1200 m. (R. Cámara, 07/10/2004)**





# METEORIZACIÓN

- Meteorización química

- Profundidad de la meteorización

- El desarrollo y profundización del regolito es **función de** los siguientes factores:
      - **Climáticos** (temperatura y precipitación)
      - **Biológicos**, sobre todo la vegetación
      - **Geomorfológicos** (estabilidad superficial)
      - **Hidrológicos**
      - **Geológicos** (tipo roca y densidad de planos de fisibilidad)
      - **Cronológicos** (cambios climáticos y tectónicos)

# METEORIZACIÓN

- Meteorización química

- Velocidades de meteorización

- Se acelera en los trópicos
    - Se puede estudiar la velocidad en:
      - Piedras de construcción, con ensayos de laboratorio, estudiando la composición química del residuo de meteorización
      - Midiendo la carga sólida y en disolución del agua en parcelas experimentales de unas decenas de metros de largo

# METEORIZACIÓN

- **Meteorización biológica**

- La **biogeomorfología** es la rama de la geomorfología que estudia la meteorización biológica
- Las **bacterias, hongos y líquenes**, son abundantes en los climas secos debido a la acción redistribuidora del viento
- Estos organismos, **muy ricos en especies**, producen meteorización en las rocas y suelos
- También son **muy abundantes**, del orden de millones de individuos
- Alcanzan su **máxima profusión en superficie** y disminuyen en profundidad

# METEORIZACIÓN

- **Meteorización biológica**

- Las bacterias heterótrofas producen la mineralización (ácidos débiles y orgánicos) de la materia orgánica por oxidación
- Las autótrofas oxidan el azufre o los sulfuros y los nitrogenados
- La reducción u oxidación del hierro y el manganeso lo llevan a cabo las bacterias

# METEORIZACIÓN

- Meteorización biológica
  - Las algas, champiñones y líquenes, son pioneros en la colonización de la roca, tanto en las ácidas como en las básicas
  - Las algas crecen en rocas húmedas
  - Los líquenes se adaptan bien a ambientes secos, y producen meteorización física por humectación y secado. Pueden alterar de 1 a 5 mm
  - En general, estos organismos actúan combinando procesos físicos y químicos

# METEORIZACIÓN

- Meteorización biológica
  - Los organismos pueden desarrollar biocostras, formadas fundamentalmente por microorganismos. Estas detienen en parte la acción del viento
  - También se producen descamaciones, disgregación granular, con secreción de ácidos orgánicos que atacan la roca y generan quelatos
  - La liberación de dióxido de carbono por la actividad biológica contribuye a la disolución

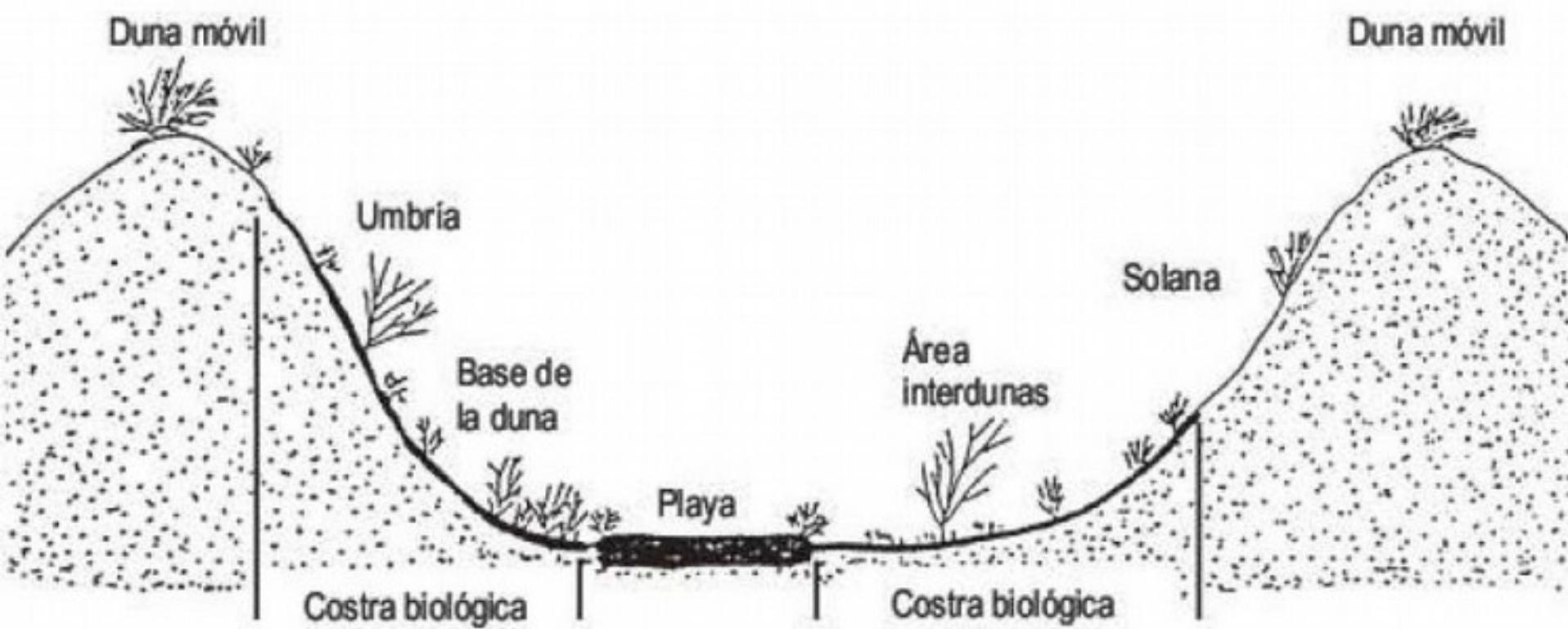
# METEORIZACIÓN

- **Meteorización biológica**

- Las raíces contribuyen a la rotura de la roca, y aportan dióxido de carbono que ayuda a la disolución
- Las termitas construyen termiteros que pueden alcanzar los 9 m de altura. Cuando son abandonados, son expuestos a la erosión
- Los gusanos terrestres también realizan construcciones, pero no superan los 30 cm de altura
- Algunos crustáceos horadan el suelo
- Conejos, topos aves, también realizan construcciones en acantilados y escarpes







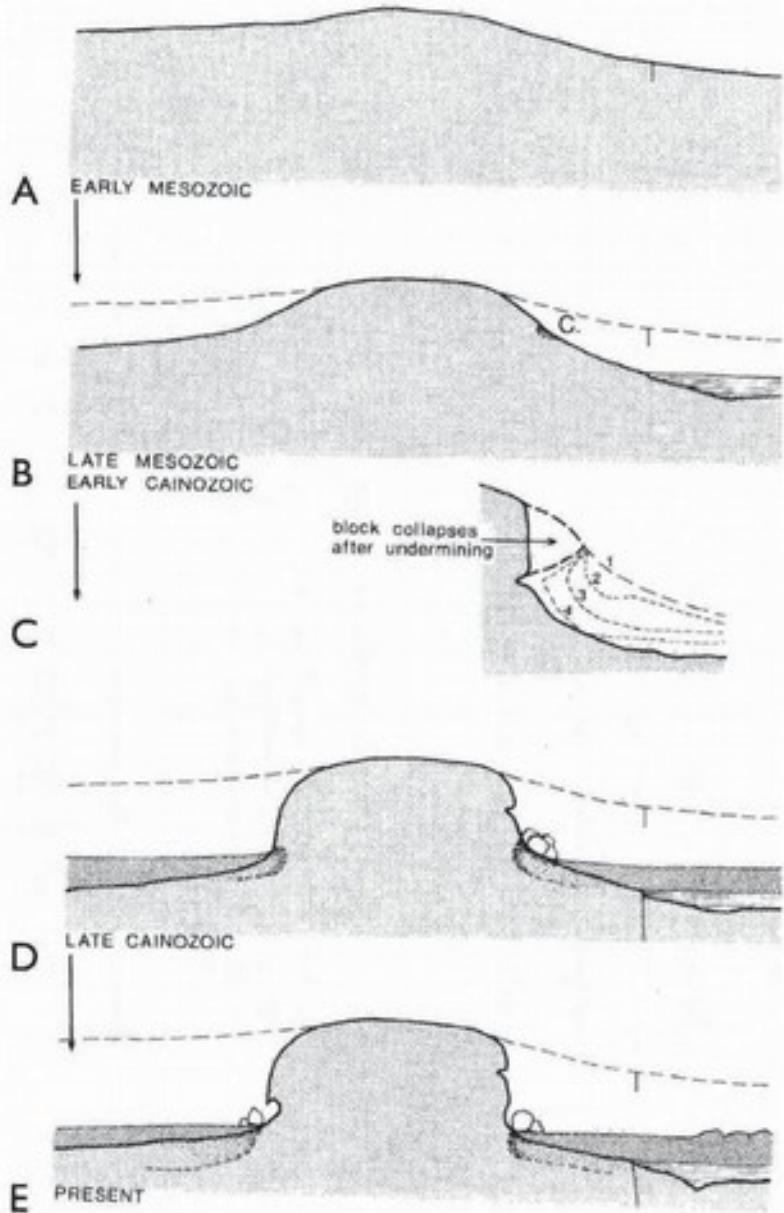


# METEORIZACIÓN

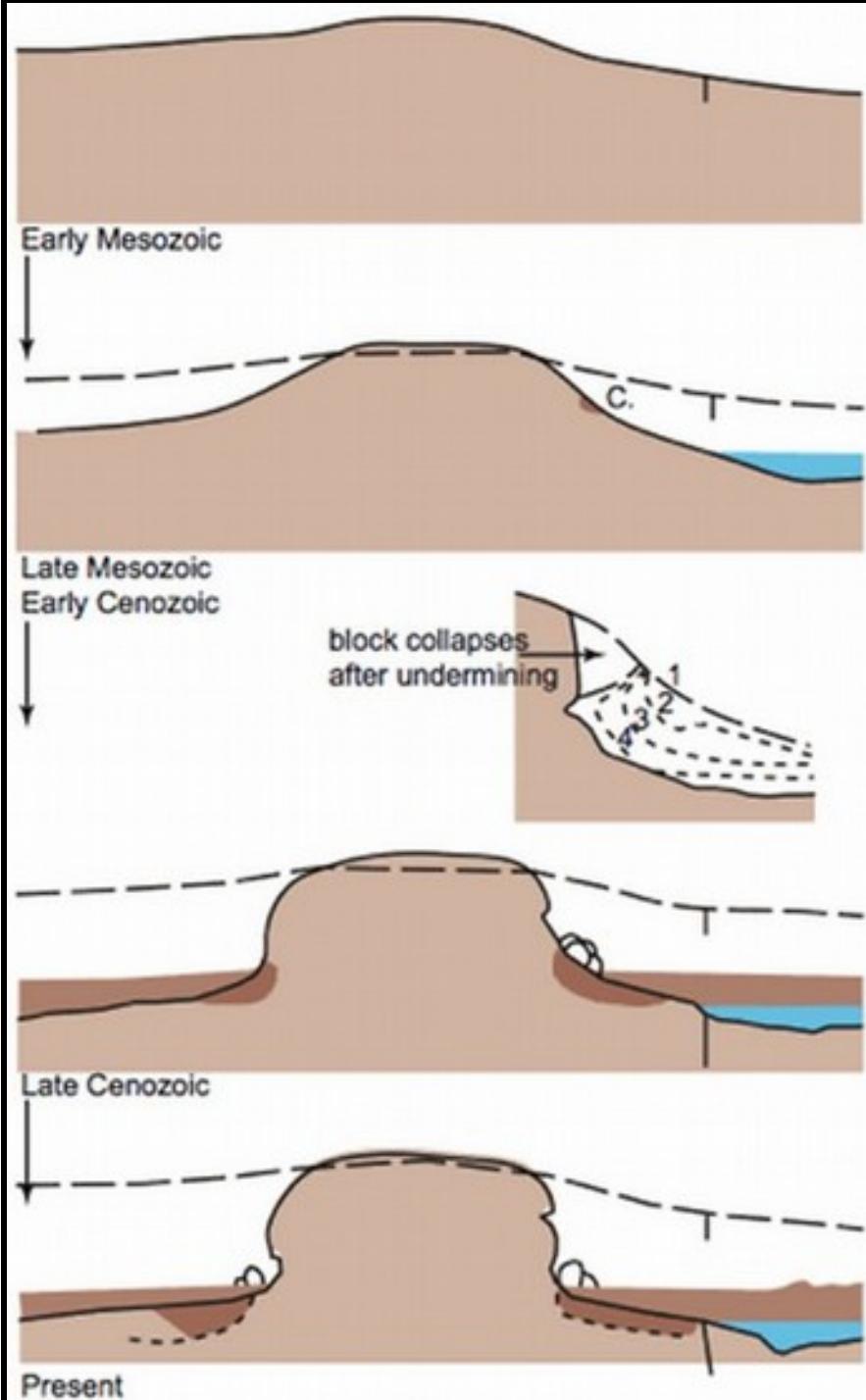
- **Formas resultantes de la meteorización**

- Excluyendo las formas propias de relieves específicos, como el *karst*, o el relieve granítico, las formas más comunes son:
  - **Socavamiento basal**: en la base, los afloramientos de roca conservan más agua. Por esta razón, se meteoriza más que en las partes superiores y/o expuestas de la roca, produciendo socavamiento de las paredes y dando lugar a **cavernas o abrigos**





**FIGURE 12.** Age, evolution, and exposure sequence of Uluru (Ayers Rock), a giant inselberg in Central Australia, due to the denudation of the neighboring plains (Twidale, 2007a). A. Early Mesozoic bedrock landscape, under deep weathering conditions in wet tropical climate; B. Effect of differential weathering; (c) initial incision and origin of the flared surfaces during the Late Mesozoic-Early Cenozoic; dashed line, original surface and weathered area; C. A detail of the side walls, showing the origin of the flared slopes; D. The giant inselberg is fully developed, after removal of the weathered debris in the Late Cenozoic; E. Present conditions, with collapsed blocks from the flared slopes.



# METEORIZACIÓN

- **Formas resultantes de la meteorización**

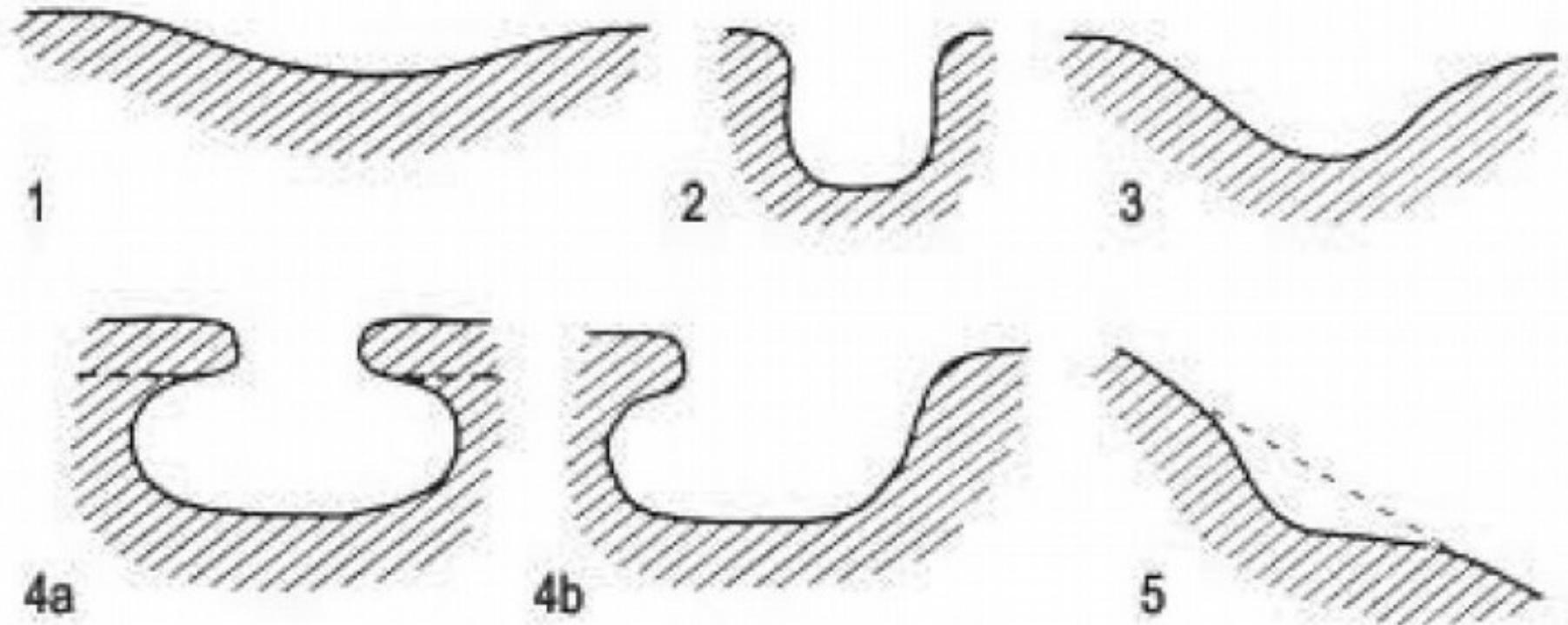
- Excluyendo las formas propias de relieves específicos, como el *karst*, o el relieve granítico, las formas más comunes son:

- **Alveolos**: en paredes rocosas (generalmente de areniscas) de moderada o gran inclinación se localizan oquedades redondeadas, que en ocasiones «acribillan» la roca por completo. También se observan en el talud sobre bloques desprendidos. Si el tamaño de estas oquedades es centimétrico se les denomina alveolos. Suelen dibujar morfología en panal de abeja. Su origen es controvertido, y se atribuyen a la erosión eólica, descamación, meteorización salina y crioclastia.
    - **Tafonis**: similares a los anteriores, pero las oquedades son de orden decimétrico y a veces métrico
    - **Gnammas o pilancones de meteorización**: en afloramientos de poca inclinación se desarrollan depresiones cerradas. Generalmente se encuentran en grupos, con diámetros comunes dm, pero también cm y m. Hay varios tipos de gnammas









**FIGURA 5.40** Secciones transversales de gnammas en la región de Alcañiz (provincia de Teruel, España). Depresión del Ebro. 1: gnamma de bordes tendidos. 2: gnamma en pozo o *pit*. 3: gnamma en cubeta o *pan*. 4a: gnamma en cubeta con voladizo. 4b: gnamma disimétrica. 5: gnamma en sillón o *armchair* (Gutiérrez e Ibáñez, 1979).

# METEORIZACIÓN

- **Formas resultantes de la meteorización**

- Excluyendo las formas propias de relieves específicos, como el *karst*, o el relieve granítico, las formas más comunes son:

- **Pseudolapiaz**, típico de granitos, reciben ese nombre por su parecido con el *lapiaz* de las rocas de carbonatadas y evaporíticas. Suelen ser acanaladuras (requeros)
    - **Agrietamiento poligonal o hieroglifo**, también en granitos, que puede aparecer en distintos climas. Los polígonos tienen diámetros entre 5 y 30 cm



















