FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY

Tema N° 5

La meteorización. Las condiciones litológicas. Las acciones físicas, químicas y biológicas de la meteorización. Formas resultantes de la meteorización.
Cambio Ambiental. Paleoclimas. Los climas del pasado. Oscilaciones climáticas del Cuaternario. Su influencia en la morfogénesis. Cambio antropogénico.

Prof. Carla D. Santamans

METEORIZACIÓN

Definición: *es la alteración física y química de las rocas cuando están expuestas a la atmósfera*. ***Es un proceso general que experimentan los materiales en la Litosfera, como respuesta a las condiciones de proximidad o contacto con la Atmósfera, Hidrosfera y Biosfera*** (Reiche, 1950).

Es, por lo tanto, una "adaptación" y principalmente la sufren aquellas litologías cuyo enlace y agregación mineral corresponden a ambientes de altas presiones y temperaturas. Cuando dichos materiales son sometidos a las condiciones reinantes en la superficie terrestre (i.e. bajas presiones y temperaturas), su "adaptación" queda manifiesta por una serie de transformaciones ***físicas y químicas***.

Físicas → Acciones mecánicas → Desagregación o fragmentación de las rocas → Partículas, granos, gránulos, bloques

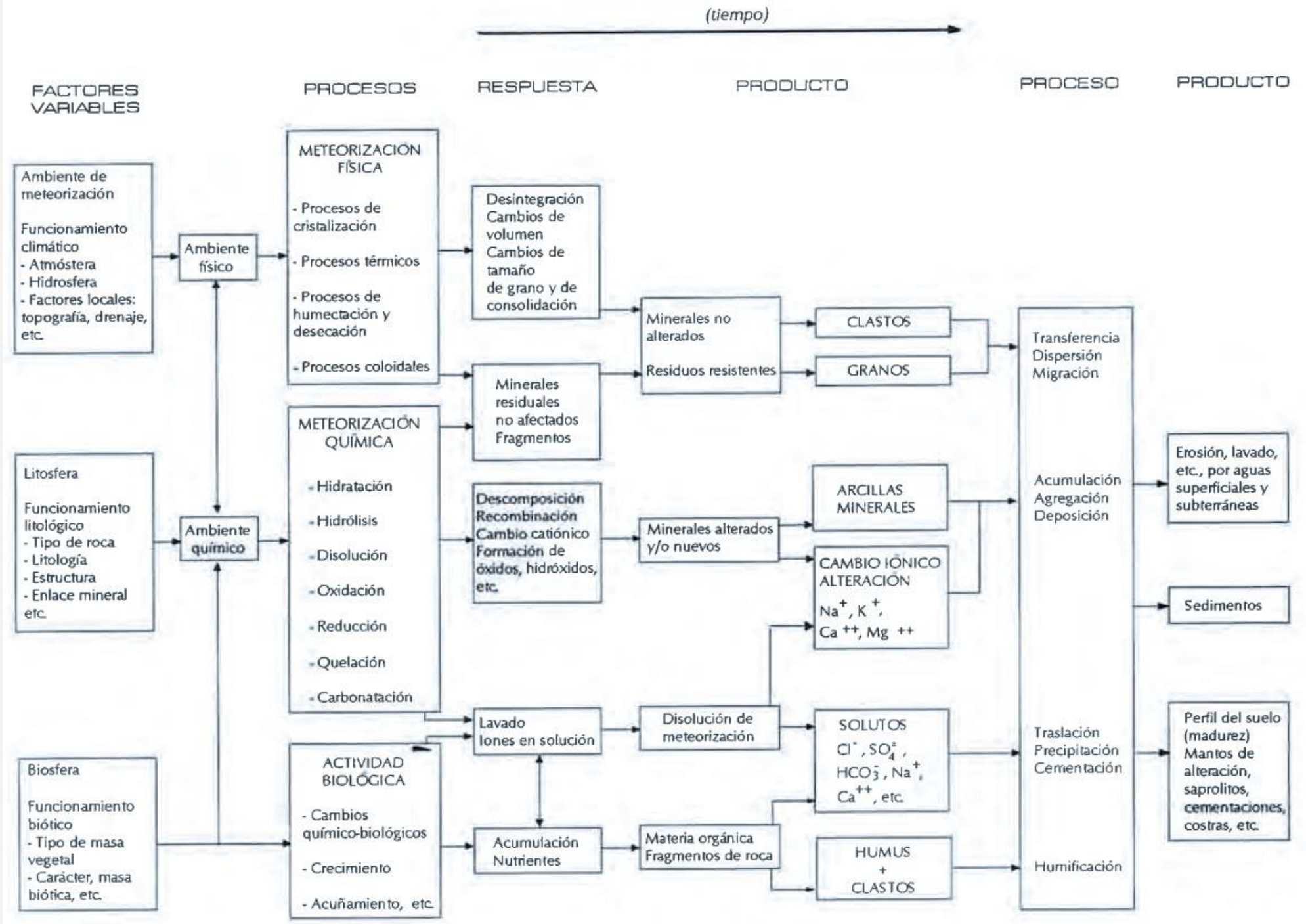
Se deben a las tensiones puestas en juego durante los cambios de volumen (expansión; expansión/contracción) y acuñamientos que sufren los materiales por: empapamiento/desecación, crecimiento de cristales, termoclastismo, crecimiento de raíces, alivios de cargas, etc.

Químicas → Descomposición de minerales → reacciones → Hidrólisis, hidratación, disolución, redox (óxido/reducción), carbonatación, quelación, etc.

La meteorización debe ser considerada como un conjunto de acciones articuladas, cuyos productos característicos son las alteritas o formaciones superficiales alteríticas, a partir de las cuales tiene lugar el inicio y desarrollo del suelo.

Diagrama general sobre los factores y procesos de meteorización (según Brunsden, 1979).

Fuente: de Pedraza (1996)



Tipos de Meteorización

1) Meteorización Física o Mecánica

Los procesos mecánicos de meteorización o ***clastias*** se definen como fragmentaciones o desagregaciones de las formaciones rocosas aflorantes al verse sometidas a esfuerzos derivados de variaciones térmicas o hídricas, caracterizándose por producir partículas sueltas de diverso tamaño y forma angulosa (*clastos*) cuya naturaleza petrológica no difiere en nada de la del material rocoso del que proceden. Según el factor principal responsable del desencadenamiento de los citados esfuerzos mecánicos, se distinguen en Geomorfología *clastias de origen biológico, térmico e hídrico*; entre las segundas se encuentran la ***termoclastia*** y la ***crioclastia*** y, entre las terceras, la ***hidroclastia*** y la ***haloclastia***.

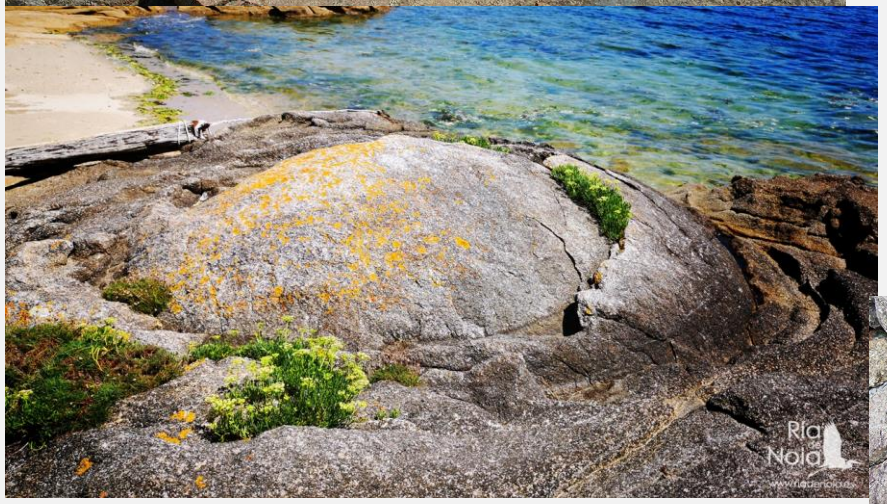
Cuando una roca experimenta meteorización mecánica, se rompe en fragmentos cada vez más pequeños, cada uno de los cuales conserva la naturaleza del material original. Sin embargo, este proceso aumenta el área superficial disponible para el ataque químico (meteorización química).

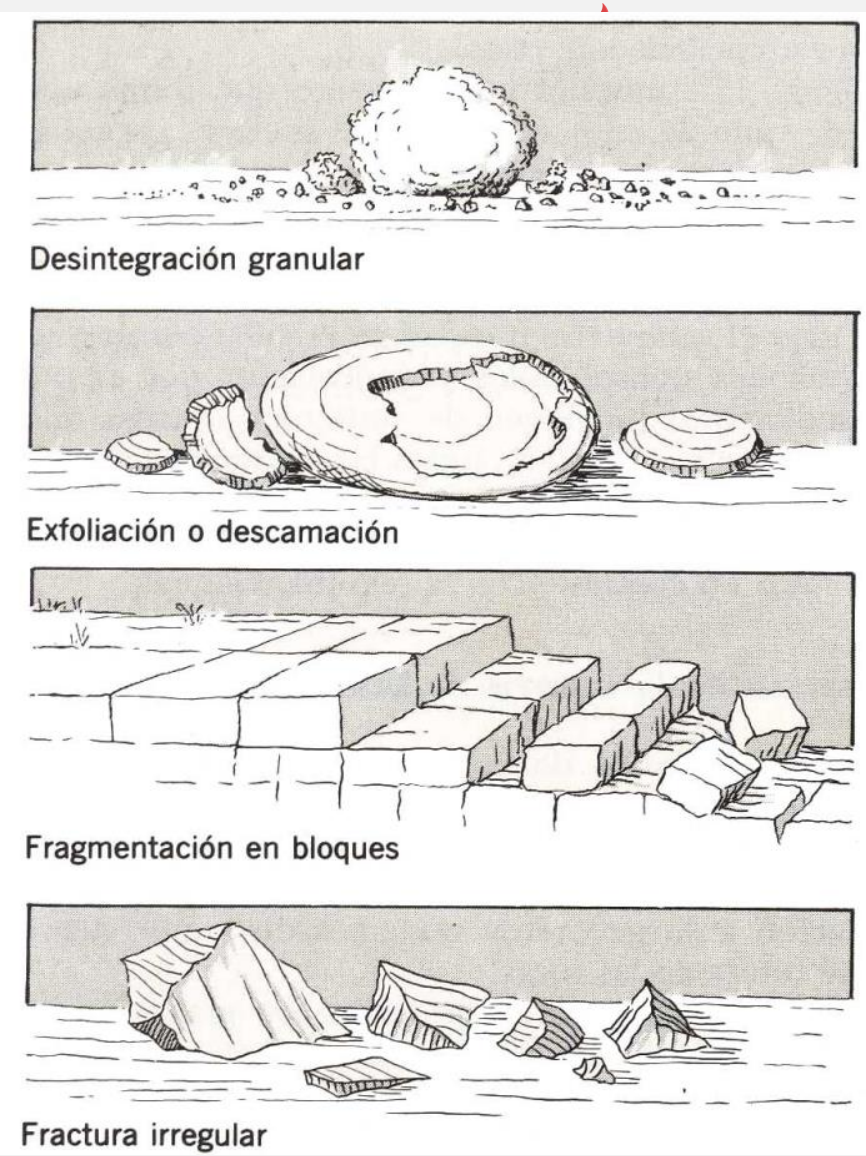
Entre los procesos físicos que existen en la naturaleza y que inducen la fragmentación de las rocas se tienen: ***fragmentación por helada, expansión provocada por las descompresión, expansión térmica y la actividad biológica***. Por otro lado, la acción dinámica de los agentes erosivos (i.e. viento, hielo glaciar, agua/escorrentía), la cual es independiente de la meteorización, es muy importante ya que retiran los restos rocosos ya fragmentados, colaborando con la desintegración de los materiales.

1.a) Descompresión o Lajamiento

La presión atmosférica en la superficie terrestre es mucho menor que las presiones por debajo de ella, aún a unos pocos metros de la tierra o del mar (10 mts de agua de mar ó 3-4 mts de roca suprayacente equivalen a 2 atms). Ya sea que una roca se formó por consolidación de fango en el fondo del mar o por enfriamiento de una masa fundida en profundidad, estuvo sometida a una presión mayor cuando se formó que cuando fue expuesta a la atmósfera. El ascenso de las tierras, el retiro/alejamiento del mar junto con la erosión, hizo que cientos de metros de roca suprayacente fuera retirada para dejar expuestas las diversas rocas que ahora forman nuestro paisaje. Cuando están así descargadas, las rocas se expanden debido al alivio de presión.

Ya sea mientras se están formando dentro de la Tierra o durante el ascenso previo a su exposición a la erosión, la mayoría de las rocas son fracturadas en ***bloques*** o losas de diversos tamaños. Las fracturas o ***diaclasas***, en general tienen una orientación y espaciamiento regional sistemático que puede relacionarse con las fuerzas que motivaron el ascenso. Si una roca está bien diaclasada, o si una roca sedimentaria tiene espacios abiertos a los largo de los planos de estratificación, la expansión leve originada por la descarga es aliviada por movimiento sobre estas superficies pre-existentes. Pero, algunas rocas macizas como la arenisca y el granito, con pocas diaclasas abiertas u otras fracturas naturales, poseen un tipo distintivo de diaclasas denominadas **diaclasas de lajamiento** o simplemente **lajamiento,** que se desarrollan cuando quedan expuestas a la erosión. Esta diaclasas son paralelas a la superficie del terreno y forman capas concéntricas de roca hasta un espesor de varios metros. Se forman progresivamente hacia abajo a medida que las capas más externas de la roca son aliviadas de la carga y se expansionan, desprendiéndose de la roca subyacente. Este fenómeno raramente se extiende más de un par de centenas de metros por dejado de la superficie, debido al peso que ejerce la roca suprayacente. La meteorización continua acaba por separar y desgajar las lajas, creando **domos de exfoliación**.





La rotura de las rocas adopta varias formas, dependiendo del tipo de roca y de la presencia de diaclasas. *Fuente: Strahler y Strahler (1994)*

I.b) Fragmentación por hielo: gelifracción, crioclastia o gelivación

Consiste en la ruptura de las rocas como consecuencia de la congelación y el deshielo del agua acogida en los huecos o fisuras superficiales existentes en ellas, siendo por lo tanto una clastia de origen térmico pero en la que las variaciones de temperatura no actúan directamente sino a través del comportamiento en relación con ellas de un agente, el agua.

El agua líquida tiene la propiedad de expandirse un ~9% cuando se congela, ya que en la estructura cristalina regular del hielo, las moléculas de agua están más separadas de lo que están en el agua líquida próxima al punto de congelación. Como consecuencia, la congelación del agua en un espacio confinado ejerce un gran presión hacia afuera sobre las paredes del lugar donde se encuentra. De esta manera, en la naturales, el agua se abre camino por las grietas de las rocas y tras su congelación, se expande y aumenta el tamaño de esas grietas. Después muchos ciclos de congelación / deshielo, la roca se rompe en ***fragmentos angulares (gelifractos***), dando lugar a una desintegración granular. El proceso se denomina ***rotura por cuñas de hielo*** (gelifracción).

La acción de estas cuñas de hielo es más notable en áreas montañosas, donde existe una gran amplitud térmica diaria y, por ende, los ciclos hielo/deshielo. En estas regiones las secciones de roca se desmenuzan por acción del acuñamiento y poder caer desordenadamente en grandes montones llamado ***canchales o pedregales***, formados en la base de afloramientos de roca empinados.

Es el proceso de meteorización más importante de las regiones periglaciares. La cubierta de vegetación esparcida y los afloramientos rocosos ejercen una influencia importante en la crioclastia en los ambientes polares. La vegetación actúa como protectora y la abrasión del viento y la gran desecación en los afloramientos rocosos impide la retención de los productos de meteorización.

La efectividad de la crioclastia es función del contenido de agua y del tipo de roca. Las rocas ígneas experimentan una menor desintegración que las pizarras. Esto está en relación con las características estructurales, fundamentalmente con la densidad de planos de fisibilidad de la roca. En el caso de sedimentos la crioclastia depende de la porosidad: las rocas con una porosidad menor del 6% no experimentan crioclastia y las muy porosas no están afectadas por la gelivación.

1.c) Fragmentación por temperatura: termoclastismo

*Recibe el nombre de **termoclastia** la fragmentación o desagregación superficial de una roca coherente como consecuencia directa de los cambios de temperatura que la afectan.*

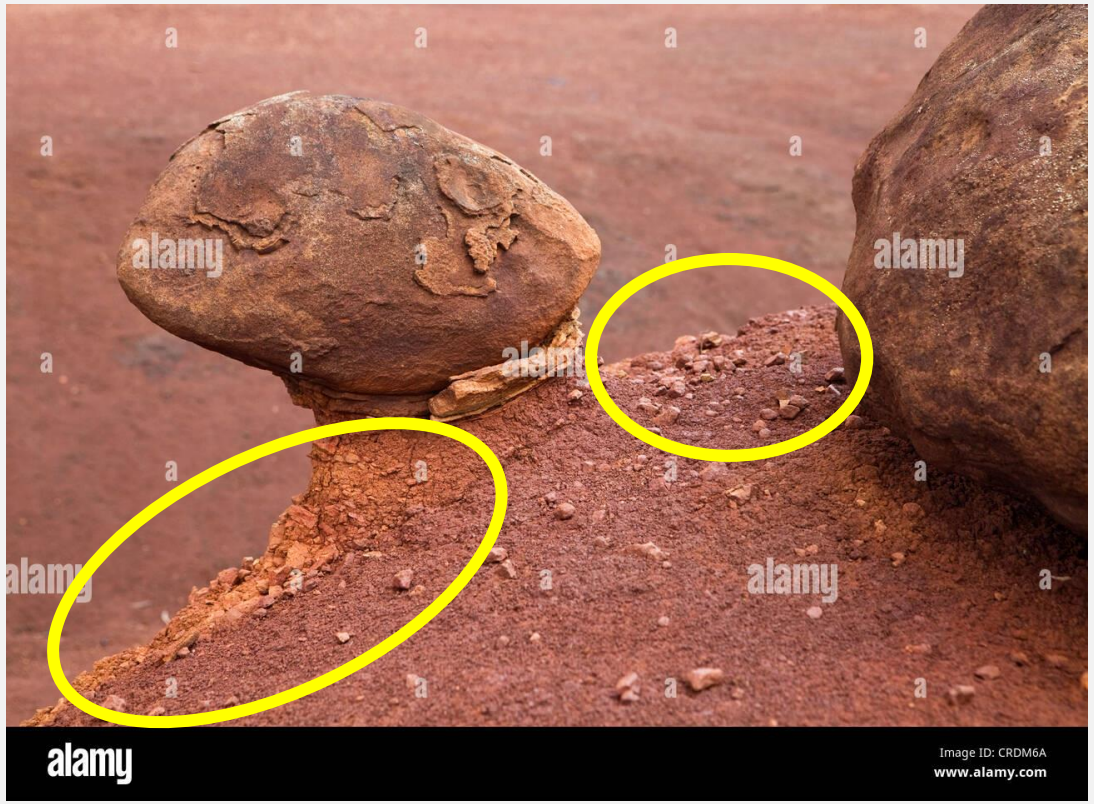
El ciclo diario de T° puede meteorizar las rocas, en particular en los desiertos cálidos donde las variaciones diarias de T° pueden superar los 30°C. El calentamiento de una roca produce expansión y el enfriamiento causa contracción. La dilatación y reducción repetida de minerales con índices de expansión diferentes, ejerce cierta tensión sobre la capa externa de la roca. Este efecto se ve en los bloques y guijarros de los desiertos, los cuales se encuentran quebrados en secciones semejantes a gajos de naranjas.

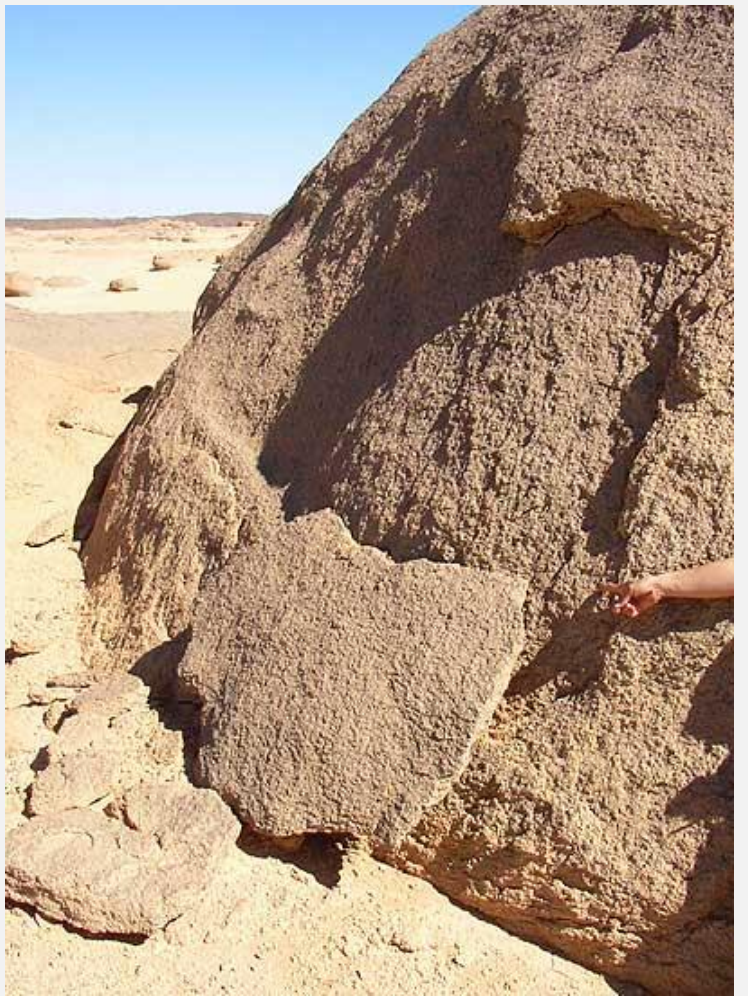
Sin embargo, los experimentos de laboratorio no han logrado respaldar esta hipótesis, de hecho han reflejado que el calentamiento solar por sí solo sea suficiente para partir las rocas. Pero los experimentos mostraron que en presencia de agua, los repetidos ciclos de calentamiento/enfriamiento sí favorecen la ruptura; más aún cuando las rocas calientes son enfriadas repentinamente por las lluvias torrenciales (incluso el granizo), típicas en zonas áridas/semiráridas. Una solución propuesta para este dilema sugiere que las rocas deben ser debilitadas previamente por la meteorización química, para luego sí poder romperse por consecuencia de la acción térmica pura.

La alternancia de fenómenos de dilatación y retracción que, al afectar de forma desigual a la masa rocosa debido a su limitada conductividad térmica, se traducen en tensiones mecánicas: mientras que en los niveles externos se registran variaciones de volumen, la masa interna no afectada por las pulsaciones de la temperatura ambiente se mantiene volumétricamente estable. Este comportamiento diferente puede desembocar en un efecto de separación de las partículas superficiales y puede manifestarse en una ***desagregación granular*** (desprendimiento de granos o elementos pequeños), en una ***descamación*** (disyunción de placas) o en un ***cuarteamiento*** (fragmentación superficial en clastos cuadrangulares de tamaño medio).

No todas las rocas responden a las variaciones de temperatura dilatándose y retrayéndose ni absorben y conducen el calor de la misma forma, dependiendo de su color, estructura y composición cristalina. El denominado ***coeficiente de dilatación*** es muy variable en las rocas, hasta el punto de que en algunas de ellas como, por ejemplo en las calizas, es tan despreciable que las hace inmunes a toda posible clastia de este tipo. Esto excluye del área potencial de la termoclastia a extensos sectores de la superficie continental, limitándose dicha área a los afloramientos de material lítico dotado de mayor coeficiente de dilatación, como granito y otras rocas plutónicas o rocas volcánicas (en especial cuando su coloración es oscura o intensa).

Los cantos o bloques aflorantes en superficie rotos en fracturas paralelas (*cleaved boulder)* se interpretan como producidos por meteorización por insolación (Ollier, 1983), aunque otros investigadores estiman que la causa es el haloclastismo. Los ruidos bruscos o chasquidos escuchados por los exploradores en el silencio nocturno de los desiertos se cree que son debidos a la rotura de las rocas al enfriarse durante la noche.





1.d) Fragmentación por la acción biológica (animales y plantas)

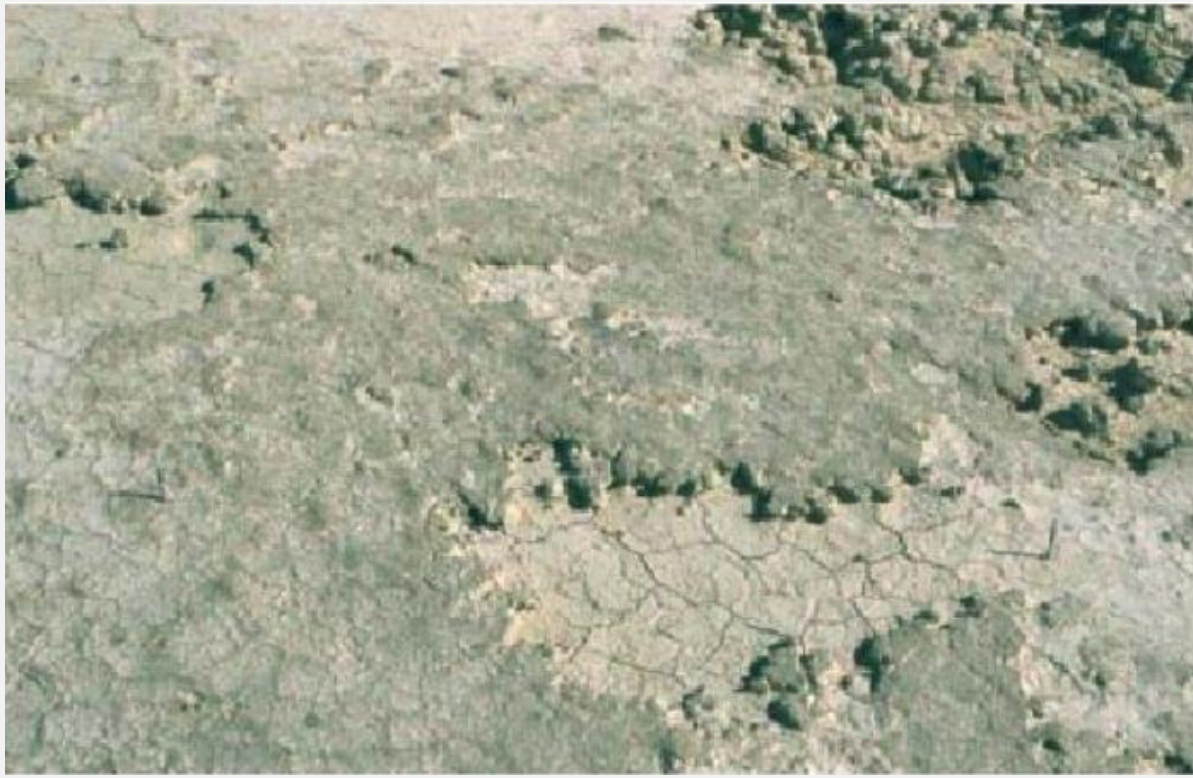
Las lombrices de tierra y otros animales excavadores (i.e. roedores, insectos) juegan un papel importante en la preparación del material para su remoción por la arroyada y el viento. Los gusanos consumen grandes cantidades de suelo para obtener comida y las partículas no digeribles son evacuadas como excrementos. Los animales excavadores descomponen las rocas desplazando material fresco hacia la superficie, donde los procesos físicos y químicos actúan con mayor efectividad. Los organismos de la descomposición también producen ácidos que contribuyen a la meteorización química. Por su parte, los humanos también producen grandes alteraciones en la física de las rocas, por ejemplo, con voladuras para carretas, canteras, etc.

La acción de *apalancamiento y acuñamiento de las raíces* de las plantas, en especial de los árboles, es una meteorización mecánica. Existen redes bidimensionales de raíces entrelazadas a distancias de muchos metros, a lo largo de diaclasas o planos de estratificación, que llegan hasta zonas profundas de rocas no expuestas. Se ha supuesto anteriormente que las raíces en crecimiento ejercen una presión sobre la roca y fuerzan a las grietas a abrirse. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las raíces crecen por líneas de debilidad o menor resistencia, y que se van ajustando a las hendiduras de las rocas, por lo que no ejercerían tanta fuerza como se pensaba. Asimismo, cuando los árboles se cimbrean por un viento fuerte, sus raíces sí separan fuertemente las rocas. De esta manera, los suelos de los bosques incluyen montículos y hoyos debidos a raíces de los árboles que han sido arrancadas cuando cayeron los árboles.

Plantas de todo tipo, además de hongos y líquenes, contribuyen en gran medida a la meteorización química, ya que extraen determinados elementos de las rocas y liberan otros; y no suele considerarse que la celulosa es más resistente que algunos materiales en las rocas. El agua contiene bacterias que atacan a ciertos minerales de las rocas. Los residuos muertos de los organismos, se descomponen y liberan anhídrido carbónico, ácidos orgánicos, amoníaco y ácido nítrico, los que aumenta el poder disolvente del agua en los lodos y suelos.

Por último debe considerarse la acción protectora de la vegetación sobre los suelos ante los procesos erosivos.

dani2010 copyright

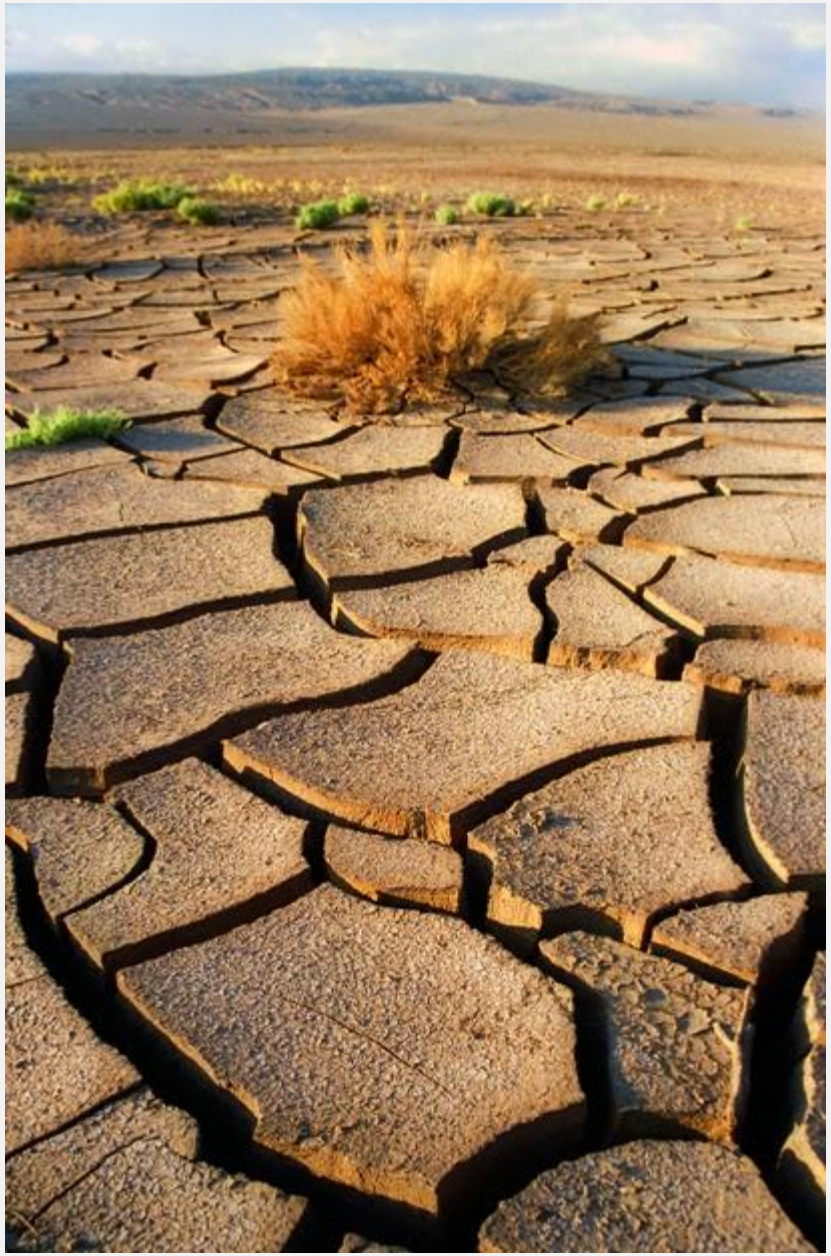


I.e) Hidroclastismo e Hialoclastismo

Hidroclastia

Las rocas están sometidas a ciclos de humedecimiento y secado, que producen efectos disruptivos. Esta acción desintegradora inducida por el agua se comprueba mediante ensayos de durabilidad llevados a cabo con diferentes rocas (Ollier, 1984). Estas permanecen sumergidas durante un día en agua y al día siguiente se secan al aire. La desintegración se manifiesta por una descamación superficial y fracturación de la roca, preferentemente a lo largo de los planos de fisibilidad existentes. Las primeras descamaciones se observan después de cinco ciclos y el agrietamiento comienza una vez superados los diez ciclos. La desintegración completa tiene lugar después de unos 180 ciclos. La descamación se interpreta por la polaridad de las moléculas de agua que son atraídas por las superficies de los minerales, produciéndose una fuerza expansiva que separa las superficies confinadas. Este mecanismo se comprueba en experiencias de laboratorio cuando se someten las rocas a la actividad de líquidos de alta y baja polaridad. Los primeros producen importantes efectos disruptivos, mientras que en los segundos la acción desintegradora es nula (Anón, 1966).

Las superficies de las rocas en los desiertos pueden humedecerse por agua de lluvia, rocío y niebla. El rocío es frecuente en algunos desiertos y puede dar lugar a un ciclo diario de humedecimiento y secado. Por otra parte, la penetración del agua en la roca depende del tamaño y geometría del poro, mientras que el secado implica evaporación y es función de la temperatura y velocidad del viento. De esta manera, los afloramientos de roca desnuda situados en laderas de solana sufren una más intensa desecación que las rocas situadas en umbría y, por consiguiente, el número de ciclos de hidroclastia será mayor y la meteorización de las rocas más profunda.



(c) Carla D. Santamans

Haloclastia

Del latín y griego, sal-ruptura. Proceso del intemperismo físico por medio del cual se produce la ampliación de grietas y poros de las rocas, así como su descamación al precipitar sales por evaporación del agua, formando cristales que ejercen presión por aumento de volumen.

El hielo no es el único material cristalino que se puede acumular en las rocas agrietadas y separar las hendiduras. Muchas sales se acumulan en distinta diaclasas y a lo largo de los contactos de los granos mineral cuando las rocas saturadas se secan. Los cristales de sales solubles precipitan a partir de soluciones sobresaturadas, a partir de la evaporación, y a medida que crecen los cristales, la roca se va desagregando rápidamente. El influjo de la meteorización salina sobre las rocas es función de la mayor o menor capacidad transmisiva del agua cargada de sales. Por eso, es necesario conocer las propiedades físicas de las rocas tales como porosidad eficaz, capacidad de adsorción, penetración capilar, desorción, expansión hídrica, resistencia a la tracción, entre otras. También es importante saber los tipos de minerales de la arcilla existentes.

Las sales más frecuentes que intervienen en los procesos de haloclastismo son los cloruros, sulfatos, carbonatos y nitratos de sodio, calcio, magnesio y potasio. El $CaC0_3$ es frecuente en zonas semiáridas, los sulfatos predominan en áreas áridas y los cloruros abundan en los desiertos costeros y cuencas cerradas andinas. Para que se produzca la cristalización es necesaria la alternancia de etapas de humedecimiento y secado y cuanto más ciclos de este tipo se produzcan mayor será la intensidad de la meteorización salina. La efectividad de la meteorización varía con la solubilidad de las sales, capacidad de hidratación de las mismas y su fuerza de cristalización.

Las sales derivan fundamentalmente de los iones liberados de los procesos de meteorización química de las rocas, que se movilizan en disolución por las aguas de es correntía y también por los flujos subterráneos.

En el interior del continente la evaporación de las aguas lacustres, suministradas por aguas de escorrentía y subterráneas y aporte eólico, da lugar a lagos salinos. La diferente solubilidad de las sales condiciona su precipitación y el resultado es el desarrollo de una zonación, que se manifiesta por la presencia de cloruros en sus partes internas, sulfatos en sus zonas medias y carbonatos, menos solubles, en las orlas externa.

Los mecanismos de la meteorización por haloclastismo son de carácter químico y físico. Comprenden la cristalización, hidratación y expansión térmica de sales de elevada solubilidad en espacios confinados o semiconfinados, tales como los poros y grietas de las rocas. De estos tres mecanismos el **crecimiento de cristales** es el más importante.

La **hidratación** implica la adsorción de agua por una sal en el interior de la estructura cristalina. Este mecanismo trae consigo un claro aumento de volumen con sus consiguientes efectos disruptivos en zonas confinadas, lo que produce disgregación granular y agrietamiento en las rocas. Los distintos tipos de sales generan Na a diferentes presiones de hidratación. El Na_2CO_3 y el Na_2SO_4 al hidratarse incrementan su volumen inicial en un 300% (Goudie et al., 1977).

La **expansión térmica** de cristales de sal, según las experiencias de laboratorio, es un mecanismo menos efectivo que los anteriores (Goudie, 1974). La expansión por calentamiento por insolación depende de la dilatación térmica de cada sal, que suele ser superior a la de los minerales de las rocas (Cooke y Smalley, 1968), y también depende de las oscilaciones térmicas que se registran en los diferentes desiertos. Las dilataciones producidas en las sales existentes en los poros y fisuras de las rocas muy próximas a la superficie generan esfuerzos que pueden conducir a su agrietamiento.

© Jorge Franco
https://www.biodiversidadvirtual.org

2) Meteorización Química

Son los complejos procesos que descomponen los componentes de las rocas y las estructuras internas de los minerales, convirtiéndolos en minerales nuevos o liberándolos al ambiente circundante. Durante esta transformación la roca original se descompone en sustancias que son estables en el ambiente superficial. Por lo tanto, los productos de la meteorización química se mantendrán inalterados en tanto y en cuanto permanezcan en un ambiente similar a aquel en el cual se formaron.
El agua es el agente de meteorización química más importante: el agua pura y sola es un buen disolvente y cantidades pequeñas de materiales disueltos dan como resultado un aumento de la actividad química para soluciones de meteorización.
Las reacciones típicas de meteorización son: *carbonación,* la *hidrólisis* o descomposición y reacción con el agua, la *hidratación* (adición de agua a la estructura molecular de un mineral), el *cambio catiónico o intercambio base (redox)* y la *quelación* o incorporación de cationes de mineral a compuestos orgánicos.

2.a) Hidrólisis

La reacción de meteorización química más importante en los minerales silicáticos es las hidrólisis, o descomposición y reacción con el agua. En la hidrólisis, el agua no es meramente un transportador de reactivos disueltos, sino que ella misma es uno de los reactantes. El agua pura se ioniza sólo levemente, pero sí reacciona con algunos silicatos meteorizados fácilmente de la manera siguiente:

$$Mg_2SiO_4 + 4H^+ + 4OH^- \rightarrow 2Mg^{++} + 4OH^- + H_4SiO_4$$

Olivino	+	4 moléculas de agua ionizada	=	Iones en solución	+	Ácido sílico en solución

El resultado de tal hidrólisis completa es que el mineral es disuelto enteramente, suponiendo que hay disponible un gran exceso de agua para contener los iones en solución. El ácido silícico, uno de los productos de reacción, es un ácido tan débil que podemos considerarlo sencillamente como sílice ($Si0_2$) disuelto en agua.

Cualquier reacción que aumente la concentración del ion H^+, en el agua aumenta también la efectividad de la hidrólisis. La forma más importante y más común en que el agua es provista de iones H^+, o acidificada, para la hidrólisis, es la disolución del anhídrido carbónico en agua. Podemos elaborar la ecuación química dada antes para la reacción entre el agua y el anhídrido carbónico de la manera siguiente:

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

gas + agua = Ácido carbónico = bicarbonato

Probablemente, la hidrólisis de los minerales feldespatos por ácido carbónico es la reacción de meteorización más común en la Tierra. Los feldespatos de calcio y sodio (denominados colectivamente plagioclasa) se hidrolizan aún más fácilmente que la ortosa (i.e. feldespato-$KAlSi_3O_8$) en agua ácida. Toda la hidrólisis de feldespato en agua carbonatada da tres productos finales: 1) un mineral arcilloso, 2) sílice en solución, y 3) un carbonato o bicarbonato de potasio, sodio o calcio en solución. Los minerales arcillosos son sólidos residuales estables bajo todas las condiciones climáticas, salvo las más húmedas y tropicales.

Hidrólisis de feldespatos

2.b) Hidratación y Dilución

La **Hidratación** *implica la adición de toda la molécula de agua a la estructura mineral.* El agua de hidratación motiva que el mineral se expansione, y por ello, es considerada muchas veces como un proceso de meteorización física, relacionada con el crecimiento de cristales extraños en una roca. El agua que reacciona con el feldespato durante la hidrólisis se convierte en parte de la estructura atómica de un mineral arcilloso; la hidrólisis y la hidratación están estrechamente relacionadas. Muchos minerales arcillosos están hidratados, destacándose aquellos que provienen de los feldespatos en la meteorización del granito. Los granos de feldespato meteorizados se expansionan y motivan que el granito se desmenuce en una masa de granos sueltos de cuarzo y feldespato denominada ***grus***. También hay minerales que se hidratan y deshidratan alternadamente, dependiendo de la humedad disponible: después de una lluvia fuerte se expansionan y levantan el suelo o rocas suprayacentes., mientras que al secarse, se contraen y agrietan.

La **Dilución** es uno de los tipos de meteorización más fáciles de imaginar, tal como se disuelve el azúcar en agua lo hacen ciertos minerales en la naturaleza, siendo el más hidrosolubles la halita. Sin embargo, la mayoría de los minerales no son solubles en agua, pero la presencia de una pequeña cantidad de ácido aumenta la capacidad corrosiva del agua (por ej. el ácido carbónico, ácidos orgánicos, ácido sulfúrico, etc.). Un ejemplo lo conforman las rocas calizas, que se disuelven con relativa facilidad ante un ácido débil.

2.c) Oxidación

En esta meteorización casi siempre tiene lugar en la presencia de agua. Siempre hay suficiente oxígeno disuelto en el agua circulante para oxidar el hierro metálico y para transformar el hierro ferroso de los compuestos minerales en hierro férrico, más oxidado. Siempre que el agua esté en contacto con oxígeno molecular atmosférico, por un lado, y hierro oxidado incompletamente, por el otro, el oxígeno se disuelve a partir del aire, se difunde por el agua y se combina con el Fe.

Cuando el hierro u otros elementos de un grano mineral se combinan con el oxígeno, la estructura mineral original es destruida, y los restantes componentes minerales quedan liberados para participar en otras reacciones químicas.

La meteorización por oxidación tiene lugar en superficies rocosas expuestas y está indicada típicamente por una ***capa superficial roja o amarilla sobre la roca meteorizada.*** Muchos tipos de rocas contienen vestigios de hierro y, sin importar sus colores naturales, se meteorizan hasta tener un amarillo o un pardo rojizo "herrumbroso ". Por esta razón, se deben partir las rocas y examinar una superficie fresca si desea describir su color verdadero. Por supuesto, la oxidación afecta también a otros elementos además del hierro pero, debido a su abundancia y fácil oxidación, este metal es ideal para mostrar el carácter general de este tipo de meteorización.

Algunos procesos orgánicos pueden reducir el óxido de hierro del estado férrico (oxidado), al ferroso (menos oxidado. Los compuestos de hierro ferroso son más solubles que los férricos. Las bacterias anaerobias reducen completamente el óxido de hierro a hierro metálico para así poder emplear el oxigeno liberado en sus procesos metabólicos. Estos procesos reductores ocurren en fangos o aguas estancadas.

Los sedimentos o rocas sedimentarias de colores rojos, amarillos o pardos indican casi siempre que su depositación se dio en un ambiente oxidado. Esto implica que el ambiente de depositación estuvo en contacto con la atmósfera, ya que los lagos y océanos están bien abastecidos de oxígeno disuelto.

2.d) Carbonación

El gas anhídrido carbónico se disuelve fácilmente en el agua. El agua fría puede disolver más gas anhídrido carbónico que el agua caliente, y el agua bajo presión incrementada puede también disolver más gas. El anhídrido carbónico disuelto se combina con el agua para formar un ácido débil (ácido carbónico) como se indica por la reacción siguiente:

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$$

El agua de lluvia reciente siempre es un poco ácida debido al anhídrido carbónico que se ha disuelto de la atmósfera. La acidez aumenta aún mas cuando el agua se infiltra en la vegetación en putrefacción de las capas superiores del suelo, porque el aire entrampado en él es rico en anhídrido carbónico consecuente de la descomposición de las plantas.

La reacción entre el ácido carbónico y los minerales se denomina **carbonación**. La carbonación es muy evidente en la meteorización de las rocas carbonáticas tales como las calizas. El carbonato de calcio, como el mineral común calcita, es el compuesto principal de la caliza. No es muy soluble en agua pura , pero en presencia de ácido carbónico tiene lugar la reacción siguiente: $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca^{++} + 2HCO_3^-$

calcita + Ácido carbónico = bicarbonato

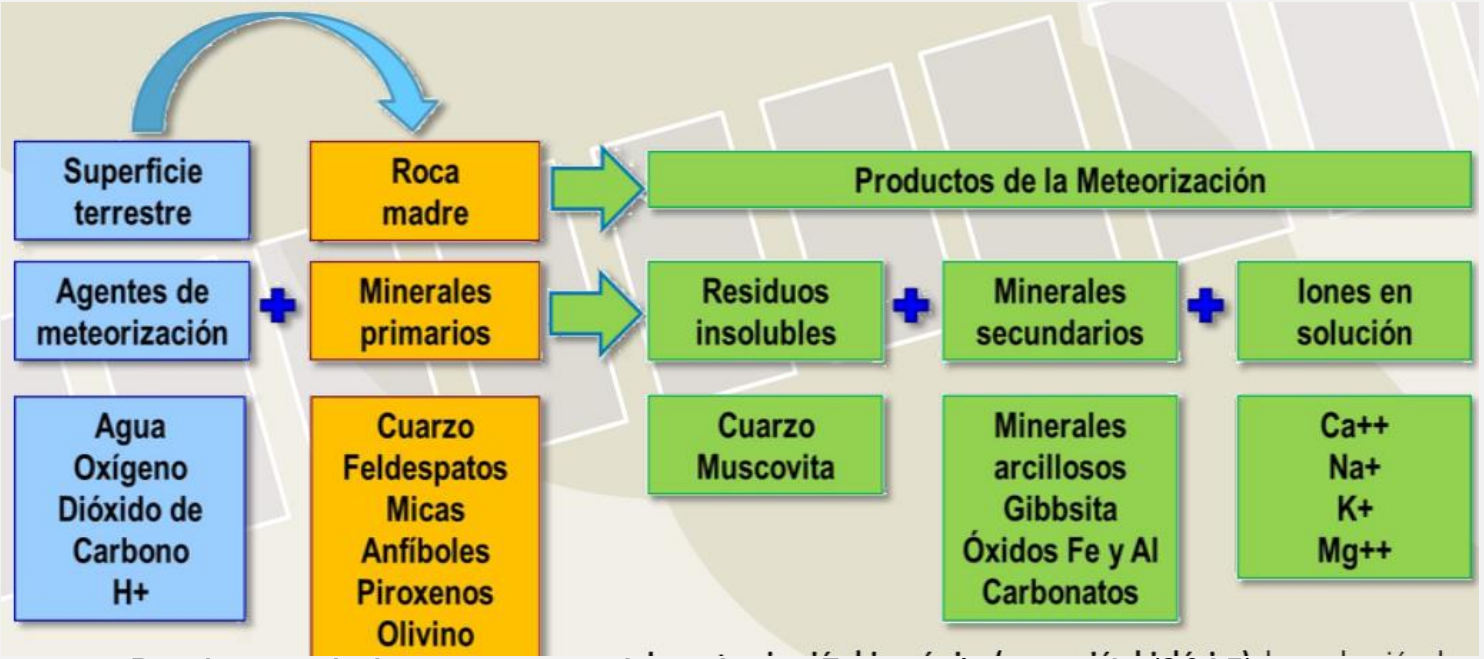
El bicarbonato de calcio es unas 30 veces más soluble que el carbonato de calcio en agua y, por consiguiente, la reacción ocasiona una disolución rápida de la caliza.

2.e) Quelación y cambio catiónico

La ***quelación*** es un proceso orgánico complejo mediante el cual los cationes metálicos son incorporados a moléculas de hidrocarburos. La palabra "quela " que significa "pinza" indica la unión química estrecha que los hidrocarburos pueden imponer a los cationes metálicos. Muchos procesos orgánicos, para que funcionen, requieren quelados metálico-orgánicos. El papel del hierro en la hemoglobina para llevar oxígeno desde los pulmones es un buen ejemplo.
Las raicillas de las plantas mantienen un campo de iones cargados con H^+ alrededor de sus extremos, que es suficientemente fuerte para hidrolizar minerales y para dejar en solución cationes metálicos, de manera que la planta los pueda quelar y absorber. En el proceso de quelación, la energía metabólica derivada principalmente de la luz solar que incide sobre las hojas de una planta es usada para meteorizar minerales en el subsuelo.

El ***cambio catiónico*** comprende una transferencia mutua de cationes tales como Ca^{++} v , Mg^{++},Na^+ o K^+ , entre una solución acuosa rica en un catión y un mineral rico en otro. La velocidad de intercambio depende de la actividad química y la abundancia de los diversos cationes, así como de la acidez, temperatura y otras propiedades de la solución. El intercambio de cationes entre los minerales y el agua subterránea puede ampliar o desintegrar la estructura mineral y liberar otros componentes químicos. Como en otras reacciones químicas, si un grano de mineral de una roca es destruido de esta manera, los granos adyacentes quedan sueltos y expuestos al mismo proceso de meteorización y a otros.

FORMAS RESULTANTES DE LA METEORIZACIÓN



Productos de la meteorización química. Fuente: Arce et al., (2015).

MACROMORFOLOGÍAS

- Acantilados y pilares
- Pilares en forma de hongo
- Cuevas, cavernas (tafoni; dolinas; poljes)
- Pozos de meteorización (gnammas; pilacones; dolinas)

MESOMORFOLOGÍAS

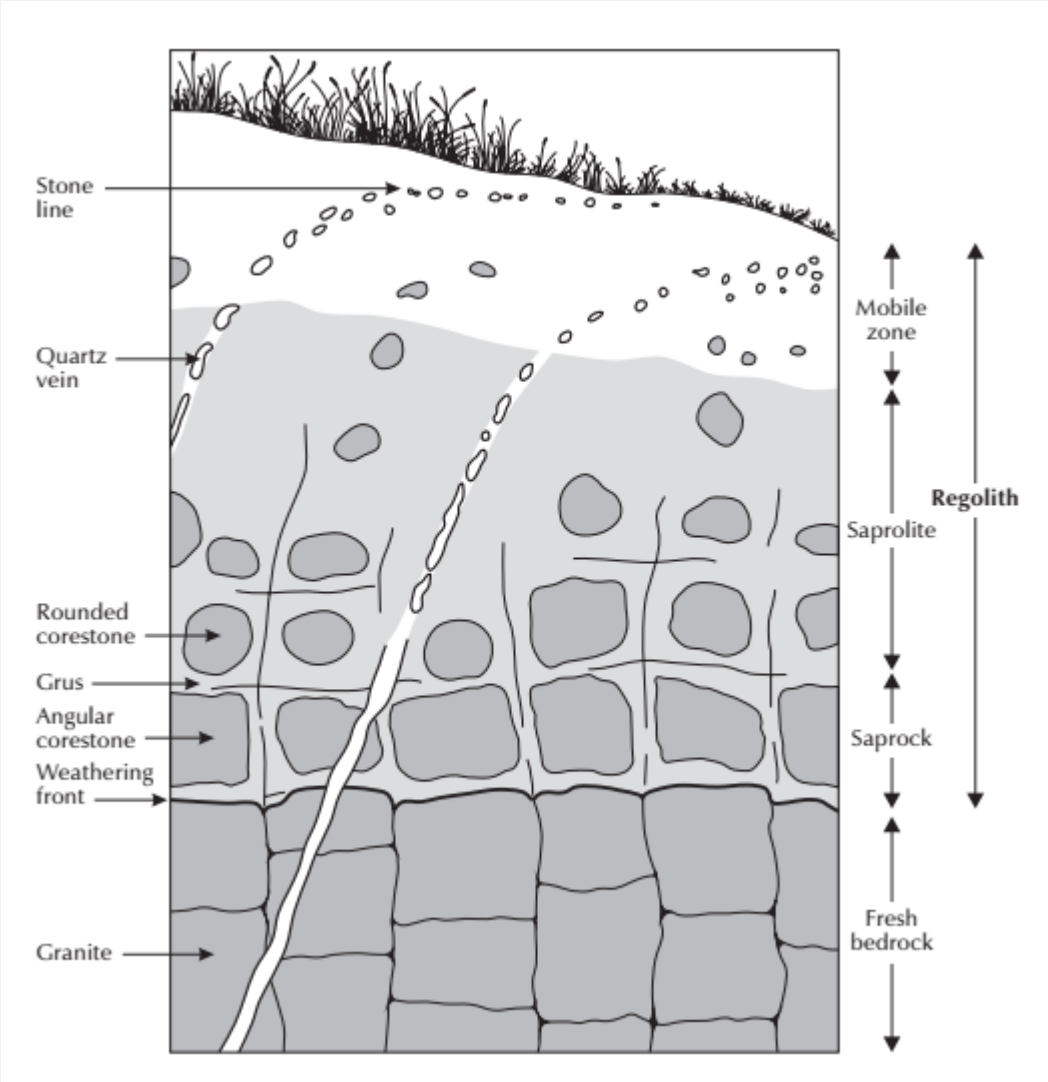
- Canales de drenaje (lapiaces, seudolapiaces)
- Cuevas, cavernas (Tafonis; dolinas)
- Pozos de meteorización
- Paneles o alveolos
- Agrietamientos poligonales
- Encostramientos o duricretas

MICROMORFOLOGÍAS

- Microcanales de drenaje
- Microagrietamientos poligonales
- Pátinas o películas (Efloraciones salinas, rubefacción, anillos de liesegang)

El perfil de meteorización

Muchos de los modelados presentan una fina película de material meteorizado, pero otros están cubiertos por un importante manto de alteración, cuyas propiedades físicas y químicas son de gran importancia para la evolución de las formas.
La roca alterada *in situ* se denomina **saprolito,** aunque se utiliza el término más general de **regolito,** del griego *regos y* que significa *manta o cobertera*. Incluye también las rocas meteorizadas que han podido sufrir movimientos de masa peliculares *(creep)* o actividad de animales y plantas. Al material arenoso resultante de la alteración de un granito se le conoce por **grus** o **lem.** Este puede originarse cerca de la superficie o a mayores profundidades, y son esencialmente azonales.



Típico perfil de meteorización en granito. El frente de meteorización separa el lecho rocoso fresco del regolito. El regolito se divide en roca madre, saprolito y zona móvil. *Fuente: Hugget (2007).*

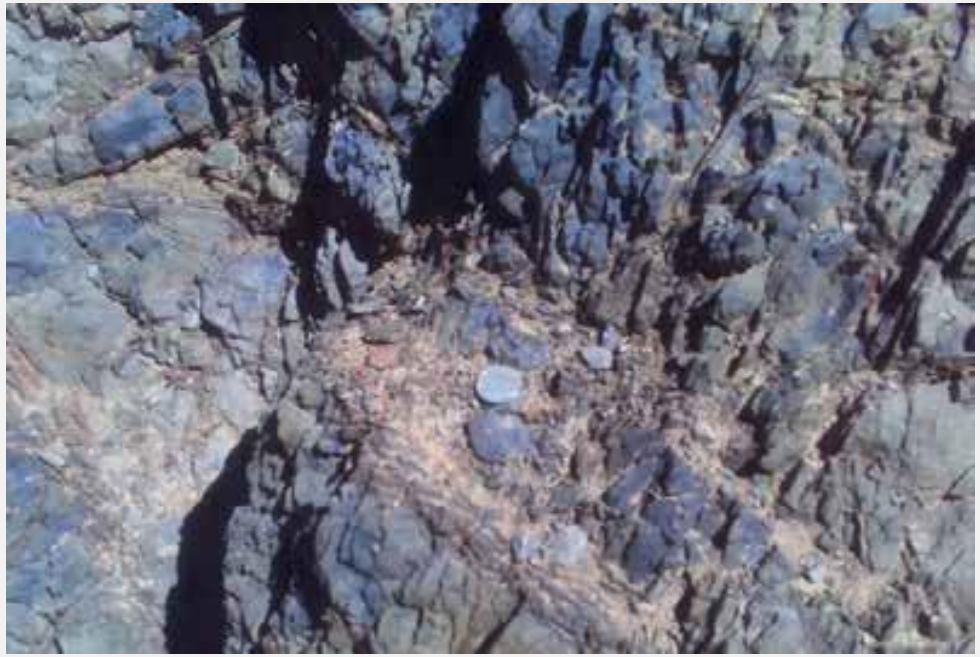
El paisaje kárstico

La disolución de la caliza no sólo rebaja superficies de terreno, sino que actúa en profundidad. Las cavernas de calizas se forman donde circulan aguas subterráneas, al comienzo a lo largo de diaclasas o planos de estratificación, y luego en conductos formados por disolución, pudiendo también formar una red esponjosa de cuevas y tubos, conformando así un **paisaje kárstico**.

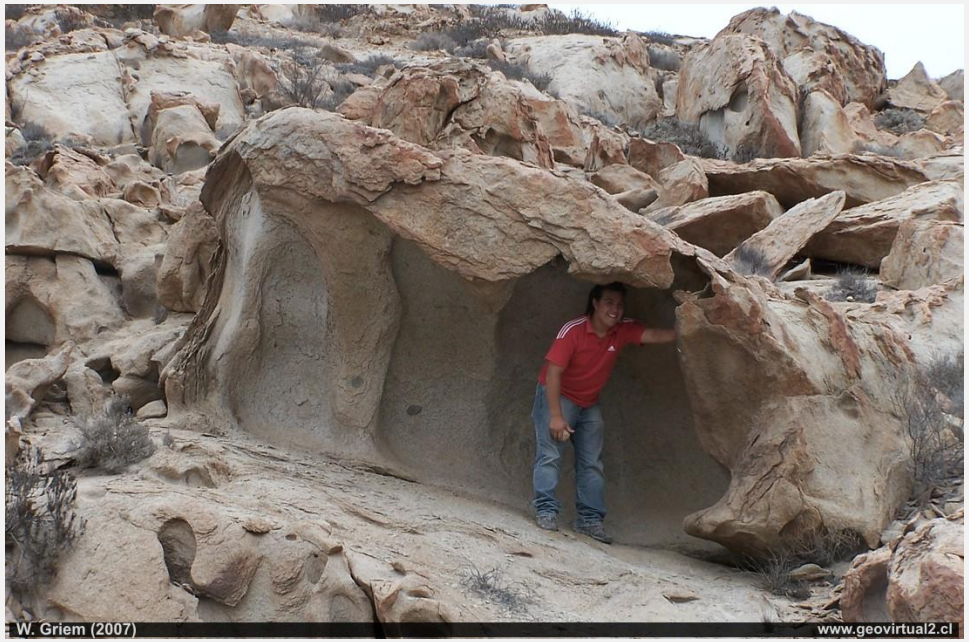
El agua carbonatada que ha estado en contacto con calizas es un agua dura o saturada de bicarbonato de calcio. Tanto una disminución de presión como un aumento en la temperatura o en la evaporación ocasionará sobresaturación y precipitación de algo de caliza. Las **estalactitas, las estalagmitas** y otras **formaciones de gutolitas** en cuevas se consideran por lo tanto como resultado de evaporación únicamente. Sin embargo, el aire de las cuevas o cavernas es sumamente húmedo y la evaporación es pequeña.

Por lo menos algo de la deposición es motivada cuando el agua subterránea, desplazándose bajo presión por la roca de encima de la cueva, penetra en el aire libre de la cueva y pierde algo de $C0_2$ debido al descenso de presión Con la pérdida de anhídrido carbónico de la solución, parte del bicarbonato de calcio disuelto vuelve a convertirse en carbonato de calcio, menos soluble, por lo general en el extremo de un saliente sobre el que el agua gotea o fluye.

Microcanales de drenaje del lecho rocoso (estrías o canalones). Se desarrollan frecuentemente en calizas, dolomitas y otros tipos de rocas solubles. También en basálticas, graníticas y areniscas como resultado de escurrimiento laminar o en flujos canalizados (formando, lapiaces; pseudolapiaces). La formación de estas estructuras se debe principalmente a la disolución; procesos cársticos pseudo y biocársticos; ciclos de humedecimiento y secado sobre irregularidades superficiales. También debido a disgregación granular y abrasión de las partículas que transportan.



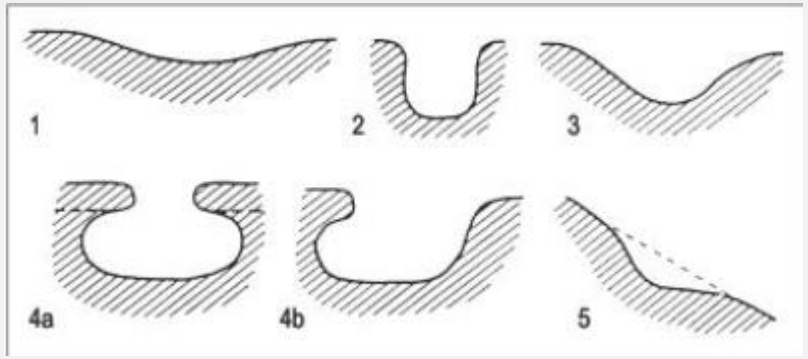
Otras geoformas resultantes de la meteorización



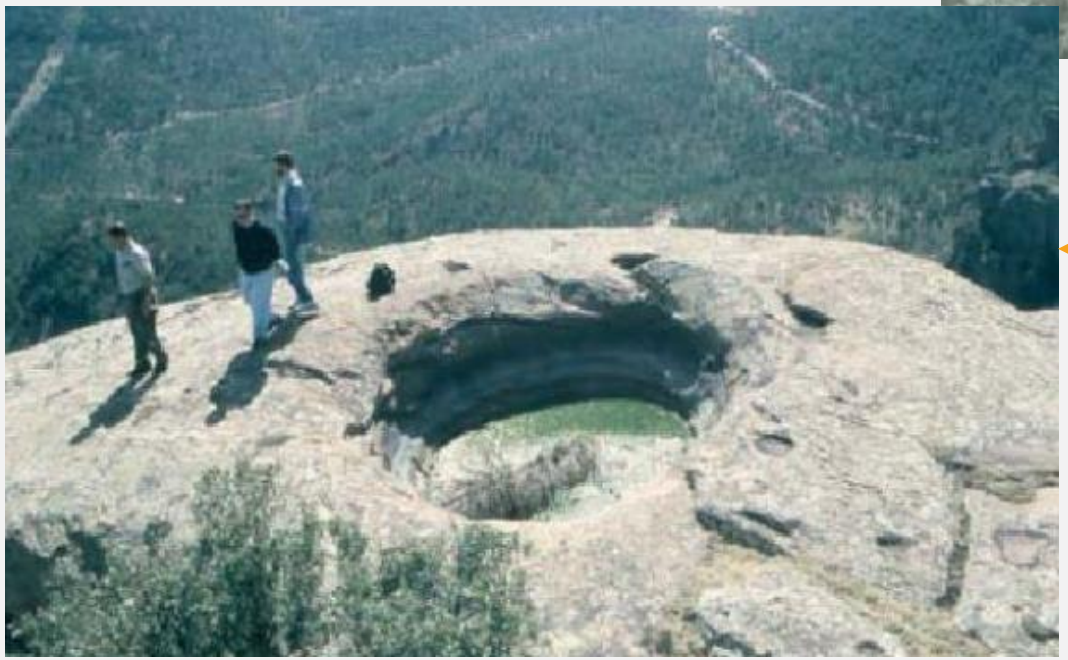
En paredes rocosas de moderada o gran inclinación se localizan oquedades redondeadas, que en ocasiones acribillan la roca por completo. También se observan en el talud sobre bloques desprendidos. Cuando las dimensiones de estas oquedades son mayores al decímetro (a veces métricas), reciben el nombre de **tafonis**. Suelen presentarse agrupados y tienen secciones circulares o elípticas y a veces, el fondo aparece cubierto de detritos, que se movilizan por el viento, lluvia y escorrentía. Pueden crecer y unirse unos con otros y también en su crecimiento hacia el interior puede conectar con otro tafoni. A veces se presentan orientados según planos de debilidad de la roca, a veces imperceptibles. La superficie rocosa suele presentar descamación y en el interior del tafoni son frecuentes las eflorescencias salinas. Su origen es controvertido: algunos autores diferencian entre *tafonis de pared* y *tafonis basales*, ligados a los procesos de socavamiento basal. Se está de acuerdo en que los procesos dominantes son los que están en relación con el movimiento del agua con sales próximas a la superficie (haloclastismo y humedecimiento y secado), al termoclastismo, crioclastia, disolución de cementos CO_3 y erosión eólica. Además de estos procesos subaéreos, algunos tafonis pueden generarse por meteorización bajo la superficie del suelo y posterior exhumación por erosión. Por otra parte, en ambientes de marcada aridez el desarrollo de los tafonis es muy escaso, ya que la carencia de agua impide la actuación de muchos procesos de meteorización.

Si el tamaño de estas oquedades es centimétrico se les denomina **alveolos,** que al agruparse dibujan un morfología en **panal de abeja** (*honeycomb*), por lo también se les conoces como **panales**. Su origen es controvertido y se atribuyen a la erosión eólica, descamación, crioclastia y meteorización salina.

En las superficies de afloramientos rocosos horizontales o de débil inclinación se desarrollan pequeñas depresiones cerradas denominadas **gnammas o pilancones de meteorización** *(weatheringpits*), que también tienen numerosas denominaciones locales. Se presentan por lo general agrupadas y sus diámetros más frecuentes son decimétricos, aunque también se reconocen otras de tamaño centimétrico y métrico, y su profundidad suele ser función de su diámetro. Sus formas en planta son variadas, si bien predominan las morfologías circulares y elípticas. Algunas gnammas tienen bordes muy irregulares, que suelen producirse por coalescencia de varios individuos. Las secciones transversales presentan una gran variedad y las gnammas pueden clasificarse en función de las mismas (Twidale y Corbin, 1963). Se diferencian las **gnammas en pozo** o ***pits*** con una gran profundidad respecto al diámetro, las **gnammas en cubeta** o ***pans*** poco profundas en relación con su diámetro y en ellas son frecuentes los voladizos y, finalmente, las **gnammas en sillón** o ***armchair***, situadas en laderas de poca inclinación, con sección transversal triangular y constituyen un paso intermedio hacia las morfologías de tafonis. e forma por retención de agua en porciones de la roca donde se produce un intemperismo químico. Evoluciona a una desagregación granular y vaciado de los productos por el rebose de agua, con lo cual profundiza.



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)



Gnammas d diversos tamaños. *Fuente: Gutiérrez-Elorza (2008)*

Otra micromorfología, de desarrollo fundamental en rocas graníticas, es el **agrietamiento poligonal *(polygonal cracking*)**, también llamado **hieroglifo**, que se localiza en cualquier ambiente climático. Los polígonos tienen diámetros entre 5 y 30 cm, grietas de hasta 5 cm de anchura que pueden penetrar algunos centímetros. Se desarrollan fundamentalmente en rocas isogranulares y de grano medio. Se ha propuesto un origen debido a planos de dislocación de cizallamiento y la otra hipótesis se fundamenta en la meteorización y la erosión, localizada típicamente sobre grandes bloques o plataformas.

Pavimento teselado

Un caso particular de esta micromorfología, la constituyen la **teselación o el craqueo piel de cocodrilo).** Consisten principalmente en grietas pentagonales o hexagonales en ángulos de 120 ° donde hacen cruces tri-radiales en superficie de la roca. Los diámetros de grietas poligonales pueden variar de 5 cm a más de 50 cm y en algunos casos se ha observado craqueo micropoligonal dentro de las placas más grandes. Es un fenómeno muy común en rocas cementadas asociadas con regiones con patrones de precipitación estacional. Algunos de los mecanismos causales incluyen la contracción de gel de sílice debido cambios de las condiciones térmicas y/o de humedad en la superficie de la roca. Precipitaciones de soluciones salinas, o calcáreas.

Pátinas – Rubefacción (películas o micro-costras): coloración rojiza de algunas superficies rocosas, generada a causa de la formación de cristales de óxidos de Fe (hematita, principalmente), consecuencia de procesos de disolución y oxidación. Los anillos o bandas de Liesegang son producto de numerosas reacciones de precipitación química con distintos niveles de concentración de óxidos de hierro, siendo comunes en rocas sedimentarias porosas o permeables.

COBERTERA DE DERRUBIOS
(depósitos continentales)

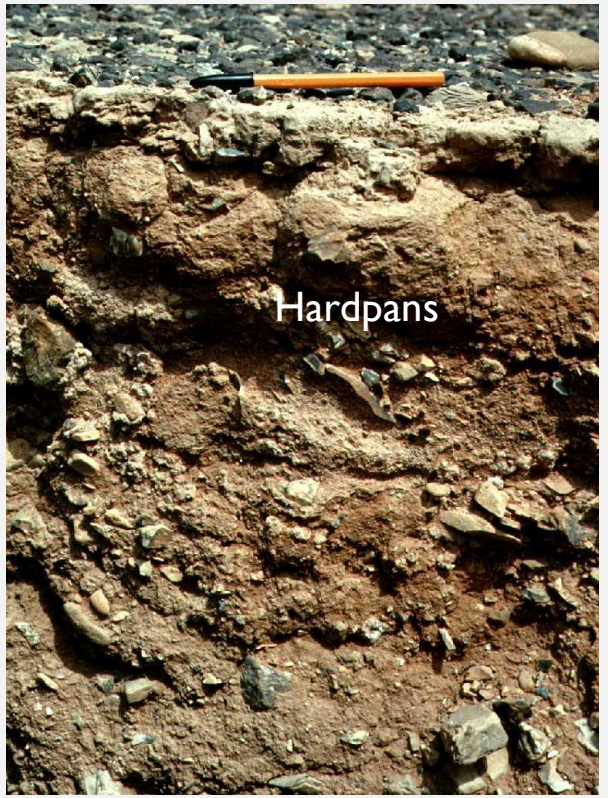
Modo de origen		*Depósitos característicos*
SEDENTARIA		
Esencialmente inorgánica	*Residual*	Grava, arena, limo y arcilla.
Inorgánica y orgánica	*Suelo*	*Terra rossa*, tierras lateríticas y laterita Incluyendo suelos sobre la roca viva (suelos de roca) y sobre los depósitos de cobertera (suelos transportados)
Esencialmente orgánica	*De acumulación*	Residuos vegetales: depósitos cenagosos y turba
TRANSPORTADA POR		
Gravedad	*Coluvial*	Canchales y desplomes de ladera
Viento	*Eólica*	Dunas de arena, derrubios de arena y loess
Hielo	*Glacial*	Arcilla guijarrosa, morrenas y drumlins
Agua de fusión del hielo	*Fluvioglacial*	Conos de deyección, kames y éskeres
Ríos (depositada en lagos)	*Lacustre*	Aluviones y depósitos salinos
Ríos	*Fluvial*	Aluviones que llegan al mar pasando de depósitos *deltaicos* o *estuarinos* a depósitos *marinos*

Cobertera de derrubios: los depósitos superficiales que yacen sobre un zócalo de rocas más antiguas y coherentes forman un manto de derrubios de características muy variadas. Esta cobertera cubre directamente la roca de la que procede la meteorización, y se sintetizan en el siguiente cuadro.

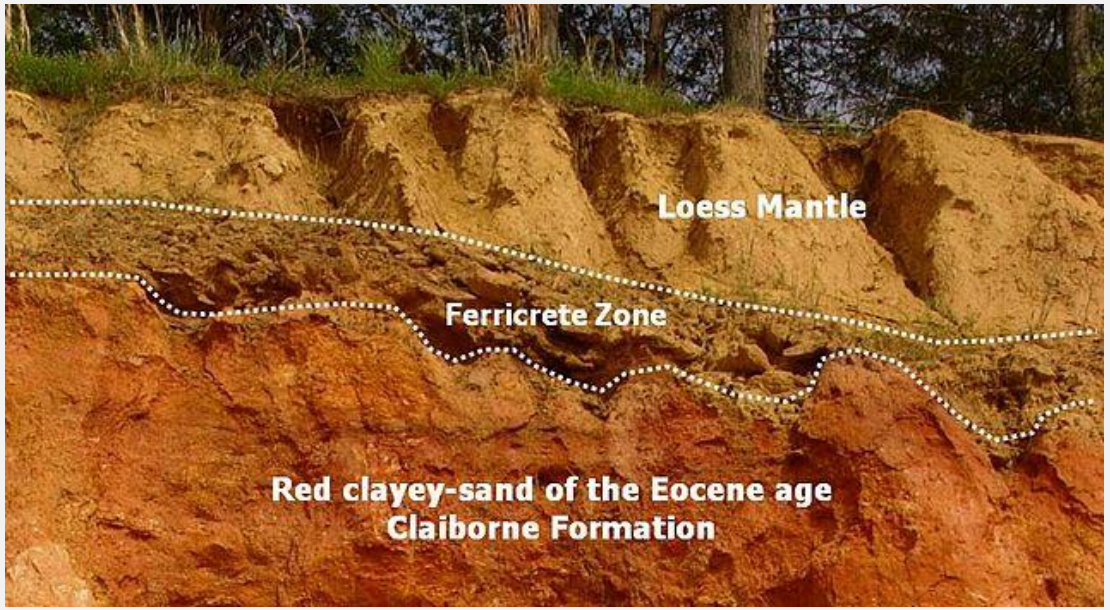
Encostramientos (duricretas). Se trata de una costra mineral dura, formada en la superficie o a poca profundidad, en regiones semiáridas debido a procesos de evaporación del agua subsuperficial; capilaridad y disolución. Son comúnmente más duros que los materiales en el que ocurren y más resistentes a la erosión. Las duricretas son acumulaciones de espesores que oscilan entre varios a pocos centímetros. Se producen en agrietamientos, límites de bloques o en el techo de cuevas y abrigos. Las anisotropías de la roca genera formas caprichosas (tabiques, láminas, esferas, etc.). La soluciones se encuentran en la matriz de la roca y se desplazan a a la superficie por medio de la capilaridad del agua de lluvia, donde se originan y acumulan costras que protegen el material subyacente, otorgándole mayor resistencia a la erosión. La acumulación puede deberse tanto a factores bióticos (acción bacteriana) o abióticos (reducción de hierro en condiciones anaerobias).

Los principales tipos de encostramientos son: **ferricreta** (rico en hierro), **calcreta** (rico en carbonato de calcio), **silcreta** (rico en sílice), **alcreta** (rico en aluminio), **gypcreta** (rica en yeso), **magnecreta** (rico en magnesita), y **manganocreta** (rico en de manganeso). Ferricretas y alcretas y silcretas ocurren en ambientes tropicales húmedos a subhúmedo, y las alcretas en las zonas más secas de tales regiones. Calcretas se manifiestan en áreas con precipitación entre de 200 a 600 mm/año. Gypcretas se producen en regiones muy áridas y se forman por cristales de yeso crecientes en sedimentos clásticos. Un caso especial, lo constituyen las **capas duras** (hardpans; duricrusts), que son encostramientos que no se hallan específicamente enriquecidos en un mineral.

Duricrust (capa dura)



Ferricretas



Calcretes (caliches)

Acantilados y pilares. Representan exposiciones del lecho de roca escarpadas, especialmente a lo largo de los valles o en la periferia de las mesetas. Se asocian principalmente con la cementación de areniscas grano fino y otras rocas cementadas. Asociada a la erosión basal y meteorización química diferencial.

Bloques aislados (pilares; rocas de pedestal): monolitos rocosas de uno o varios mts de diámetro, con formas redondeadas o cúbicas. Suelen encontrarse alejados de otras formaciones rocosas y presentar fracturación superficial. Se originan a partir de grandes masas rocosas, controladas estructuralmente por un intenso sistema de fracturas internas ortogonales. Luego de la fracturación, la meteorización afecta mayormente a los vértices, aristas y caras, generando formas redondeadas. Un caso particular está representado por los ***pilares en forma de hongo,*** formados por meteorización subsuperficial debido al ascenso y descenso capilar del agua y meteorización salina, luego de que el pilar fuera exhumado por procesos erosivos (eólicos) con descalce basal.

Para la próxima clase preparar una exposición grupal (máximo 3 personas) sobre el tema que resultó sorteado en la clase. Entre los temas a sortearse están:

Cambio Ambiental- Cambio Global

Paleoclimas. Los climas del pasado (sin considerar el Cuaternario, tema abordado por otro grupo)

Oscilaciones climáticas del Cuaternario

Influencia de los cambios ambientales/climáticos/globales en la morfogénesis

Cambio antropogénico: incidencia de la actividad antrópica en el clima y en la modificación del paisaje

Bibliografía

Arce, G., Alberto, J., Gómez, C., Sánchez, M. (2015). Meteorización, Parte II. Meterorización Química: procesos y formas resultantes. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 12. N° 24. Julio – Diciembre 2015. ISSN 1668- 5180. Resistencia, Chaco. En: http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm

Barros V., Clarke R. and Silva P. D. (2006) *El cambio climático en la cuenca del plata*., CONICET.

de Pedraza-Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda.

Gutiérrez-Elorza M. (2001) *Geomorfología Climática*., Ediciones Omega.

Gutiérrez-Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Educación S.A.

Huggett R. J. (2007) *Fundamentals of geomorphology*. 2nd ed., Routledge. Taylor and Francis Group.

Lugo-Hubp J. (2011) *Diccionario geomorfológico.*

Martini M. A., Strelin J. A., Astini R. A. and Kaplan M. R. (2017) Geomorfología y cronología glaciar del Cuaternario en el noroeste argentino. *Relat. del XX Congr. Geológico Argentino*.

Martini M. A., Kaplan M. R., Strelin J. A., Astini R. A., Schaefer J. M., Caffee M. W. and Schwartz R. (2017) Late Pleistocene glacial fluctuations in Cordillera Oriental, subtropical Andes. *Quat. Sci. Rev.* **171**, 245–259.

Muñoz-Jiménez, J. (1995). *Geomorfología General*. Editorial Síntesis

Strahler, A. N. y Strahler, A. H. (1994). Geografía Física. Ediciones Omega S.A.