

METEORIZACIÓN (INTEMPERISMO)

Dr. Luis A. Spalletti
Cátedra de Sedimentología, Facultad de Ciencias Naturales y Museo,
Universidad Nacional de La Plata. 2007.

Es la transformación de las rocas y los minerales en la superficie de la Tierra o a escasa profundidad mediante dos procesos esenciales: la **desintegración** que es un proceso físico o mecánico, y la **descomposición** que es un proceso de alteración química.

Muchas rocas y minerales se forman en profundidad, dentro de la corteza terrestre, donde la temperatura y presión son notablemente diferentes a las que se registran en la superficie. Así, los materiales formados en el interior de la corteza se encuentran en desequilibrio con respecto a las condiciones superficiales. La meteorización involucra entonces a todos los procesos que tienden a poner a las rocas y a los minerales en equilibrio con los ambientes que se encuentran en o cerca de la superficie de la Tierra.

La meteorización es el primero de los procesos que opera en un ciclo sedimentario. Sus productos sólidos o detríticos y iónicos son la fuente principal de los materiales que –como consecuencia de la erosión, transporte y depositación/precipitación- pasarán a formar parte de las rocas sedimentarias, tanto clásticas o mecánicas como químicas. Los productos de la meteorización contribuyen también a la formación de los suelos, proveen los componentes detríticos de los mismos y muchos de los nutrientes asimilados por las plantas.

LA DIFERENCIA ENTRE METEORIZACIÓN Y EROSIÓN

La meteorización involucra la descomposición y la desintegración *in situ* de las masas de rocas y minerales. En cambio la erosión ocurre cuando los componentes de las rocas son puestos en movimiento por los agentes que operan en la superficie terrestre (aire, agua, hielo y otros agentes gravitacionales).

METEORIZACIÓN FÍSICA - DESINTEGRACIÓN

Consiste en la desintegración de las masas de rocas y de los minerales por procesos mecánicos. Los esfuerzos que conducen a la ruptura pueden provenir del interior de la masa rocosa o ser aplicados externamente. Los procesos más comunes de desintegración son el crecimiento cristalino, la insolación, el alivio de presión, y los procesos alternantes de humectación y desecación. Además, el debilitamiento de las rocas a causa de la desintegración genera abundantes superficies a lo largo de las cuales se vuelve mucho más efectiva la meteorización por procesos químicos.

PROCESOS MÁS COMUNES DE LA DESINTEGRACIÓN

CRECIMIENTO CRISTALINO

El crecimiento cristalino puede causar esfuerzos que conducen a la ruptura de la masa de roca. Este proceso ocurre a temperaturas normales de la superficie terrestre, por lo que las causas más comunes son el pasaje de líquido a sólido del agua y la precipitación de sales.

CRECIMIENTO CRISTALINO - GELIFRACCIÓN

El pasaje de agua en estado líquido a hielo implica un aumento de volumen de 9 %, lo que tiene un efecto de ruptura altamente eficiente (**gelifracción**), sobre todo cuando se alcanzan temperaturas inferiores a -5°C , en áreas de alta montaña y en regiones polares donde los ciclos de congelamiento ocurren centenares de veces por año.

DESINTEGRACIÓN POR GELIFRACCIÓN



CRECIMIENTO CRISTALINO – PRECIPITACIÓN DE SALES

Por su parte, la cristalización de sales produce cambios volumétricos entre 1 y 5 %; este proceso ocurre más eficientemente en condiciones áridas y cálidas, pero también sucede en regiones frías. La precipitación de sales por migración capilar de soluciones puede producirse en la superficie de las rocas (**eflorescencias**), o en el interior a lo largo de fracturas o microfracturas (**subflorescencia**). La subflorescencia constituye un muy eficiente proceso de desintegración.

EXFOLIACIÓN POR INSOLACIÓN

Las rocas son muy pobres conductoras de calor, por lo que al ser calentadas por el sol la superficie expuesta se expande más que el interior. La sistemática repetición de este fenómeno de calentamiento genera un stress que conduce obviamente a la ruptura. El resultado de una **exfoliación catafilar o descamación concéntrica** (similar a la de las sucesivas capas que forman las cebollas).

EXFOLIACIÓN POR INSOLACIÓN



**BLOQUES REDONDEADOS – *INSELBERGS*
EFECTOS DE INSOLACIÓN Y ENSANCHAMIENTO
DE DIACLASAS HACIA LA SUPERFICIE DEL
TERRENO**



INSOLACIÓN

Por su parte, los minerales también poseen distinto grado de expansión y contracción con respecto a las variaciones de temperatura, ya que los oscuros se dilatan más que los de colores claros (por diferencias de temperatura entre el día y la noche un mineral oscuro puede ser enfriado a 0° C y calentado hasta los 50 ° C). Ello favorece también la desintegración a lo largo de los contactos entre los cristales de estas distintas especies.

ALTERNANCIA DE HUMECTACIÓN Y DESECACIÓN

La reiteración de este proceso, en especial en minerales que son capaces de incorporar agua a su estructura, produce un efectivo proceso de desintegración por aumento del stress tensional.

ALIVIO DE PRESIÓN

Este proceso es muy efectivo cuando rocas generadas a profundidad y elevadas temperaturas se acercan a la superficie por denudación de la cobertura. La eliminación de la carga litostática produce una fracturación por expansión o dilatación de las rocas a lo largo de superficies aproximadamente paralelas a las del terreno.

DESINTEGRACIÓN POR ALIVIO DE PRESIÓN



Pamela Gore 1996

METEORIZACIÓN QUÍMICA – DESCOMPOSICIÓN

La **meteorización química** está estrechamente relacionada con el **clima**, ya que éste regula las condiciones de humedad y temperatura que son esenciales para controlar las reacciones químicas que conducen a la descomposición de los minerales. El clima tropical, caracterizado por elevadas temperaturas y disponibilidad de agua, produce procesos de descomposición que son 3,5 veces más intensos que los que ocurren en condiciones de clima templado.

PROCESOS MÁS COMUNES DE LA DESCOMPOSICIÓN

DISOLUCIÓN SIMPLE

Reacción que afecta a sales solubles en contacto con el agua. Estas sales son eléctricamente neutras, pero sus aniones y cationes retienen sus cargas y atraen al agua que es un compuesto polar. La carga + polar queda cerca del anión y la carga – polar lo hace cerca del catión. Se alteran así las fuerzas de atracción existentes en el cristal de sal y se liberan los iones en solución acuosa.

EFECTOS DE DISOLUCIÓN SIMPLE EN YESO (SUPERFICIE CORROÍDA)



CARBONACIÓN

Consiste en la reacción química de iones de carbonato y bicarbonato con los minerales originales. Este proceso es muy activo cuando en el ambiente abunda el anhídrido carbónico. La capacidad corrosiva del agua se incrementa cuando se forma ácido carbónico (por la combinación de CO_2 con el agua). Se produce así la disolución de los minerales carbonatados y se favorece la descomposición de la superficie de otros minerales por la naturaleza ácida del medio.

EFECTOS DE DISOLUCIÓN POR CARBONACIÓN EN ROCAS CALCÁREAS



(METEORIZACIÓN ALVEOLAR)

CARBONACIÓN

LA DISOLUCIÓN DE LOS CARBONATOS EN PRESENCIA DE CO₂



OXIDACIÓN

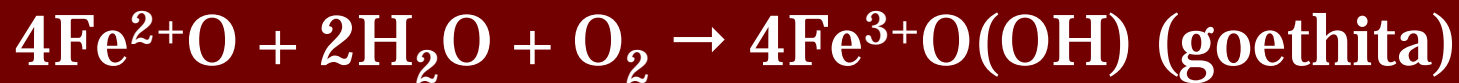
Consiste en la reacción química que se produce entre un mineral y el oxígeno. Ello implica la remoción de uno o más electrones del componente original, lo que favorece la formación de una estructura menos rígida y crecientemente inestable. Los óxidos son los productos comunes de la oxidación, y entre los más importantes están los de hierro (pasaje de Fe^{+2} a Fe^{+3}) y aluminio que precipitan en condiciones de elevadas precipitaciones y temperatura ambiente.

FORMACIÓN DE GOETHITA POR OXIDACIÓN DE PIRITA



OXIDACIÓN

LA FORMACIÓN DE ÓXIDOS E HIDRÓXIDOS FÉRRICOS



HIDRATACIÓN

Consiste en la reacción química mediante la cual se incorporan agua a un nuevo mineral, los que pueden pasar a formar parte de la estructura cristalina de la especie resultante. La hidratación puede producir la expansión de la estructura cristalina, aumenta la superficie susceptible a otras reacciones y por ende la aceleración de otros procesos de descomposición.

HIDRATACIÓN

DE LA ANHIDRITA AL YESO



ESTRUCTURA DE PLEGAMIENTO ENTEROLÍTICO POR HIDRATACIÓN DE ANHIDRITA



HIDRÓLISIS

Consiste en la reacción química que se produce entre los iones de los minerales (químicamente una sal constituida por una base débil o un ácido débil) y los iones del agua (H^+ y OH^-), lo que conduce a la formación de nuevos componentes. Este proceso es el más efectivo en la alteración de **minerales alumino-silicáticos** debido a la presencia de cargas eléctricas en la superficie de los cristales.

RESULTADO DE LA DESCOMPOSICIÓN DE UNA ROCA GRANÍTICA POR HIDRÓLISIS



HIDRÓLISIS

DEL FELDESPATO POTÁSICO A LA CAOLINITA



DE LA CAOLINITA A LA GIBBSITA



DEPÓSITOS DE BAUXITA (SE DE ITALIA)



LA SERIE DE ESTABILIDAD MINERAL DE GOLDICH

Esta serie describe la susceptibilidad a la meteorización de diferentes minerales silicatados.

El fundamento es que los minerales que se forman a elevada temperatura y presión son menos estables frente a los agentes de la meteorización.

Por lo tanto, el orden de estabilidad es similar al de la **Serie de Reacción de Bowen**.

LA SERIE DE ESTABILIDAD MINERAL DE GOLDICH (1938)

Menos estables (minerales de alta temperatura)

Olivina

Plagioclasa Ca

Piroxeno

Anfíbol

Biotita

Plagioclasa Na

Feldespató potásico

Muscovita

Cuarzo

Más estables (minerales de baja temperatura)

EL ORDEN DE ESTABILIDAD DE LOS MINERALES PESADOS SIDOWSKI (1949)

Menos estables

Olivina

Piroxeno

Granate

Anfíbol

Cianita

Estauroлита

Turmalina

Rutilo

Más estables

Circón

SILICATOS Y SUS PRODUCTOS DE METEORIZACIÓN

Mineral original	Producto de meteorización	Componentes eliminados
Cuarzo	Cuarzo	----- -
Feldespatos	Argilominerales hasta bauxitas	SiO₂, K⁺, Na⁺, Ca²⁺
Anfíboles y piroxenos	Argilominerales, limonita, hematita hasta bauxitas	SiO₂, Ca²⁺, Mg²⁺

TRANSFORMACIÓN DE LOS ARGILOMINERALES CON EL AUMENTO DE LA INTENSIDAD DE METEORIZACIÓN

Material original	Biotita	$K(Mg,Fe)_3(OH)_2(AlSi_3O_{10})$
Argilomineral metaestable	Illita	$K_{0-2}Al_4(OH)_4(Al_{0-1}Si_{3-4}O_{10})_2$
Argilomineral estable	Caolinita	$Al_4(OH)_8Si_4O_{10}$
Producto final (resistato)	Gibbsita	$Al(OH)_3$

METEORIZACIÓN BIOLÓGICA

Consiste en el proceso de transformación de las rocas y minerales por acción de los organismos, desde las bacterias a las plantas y animales. Estos procesos pueden ser de descomposición o de desintegración.

PRINCIPALES PROCESOS DE METEORIZACIÓN BIOLÓGICA

Bioturbación. Es el proceso de ruptura por actividad orgánica que lleva a la fracturación y remoción de rocas, sedimentos o suelos.

Disolución. Por la producción de CO₂ debido a la respiración conduce a la formación de ácido carbónico y reducción de pH del medio.

Intercambio catiónico. Reacciones por las cuales las plantas absorben nutrientes que pueden producir cambios en el pH, dado que por lo común se absorben cationes básicos y se elimina hidrógeno con la consecuente acidificación del medio.

Quelación. Los procesos biológicos producen sustancias orgánicas denominadas quelatos que descomponen las rocas y los minerales por remoción de sus cationes metálicos.

CRECIMIENTO DE RAÍCES EN PLANOS DE DIACLASAS



CAMBIOS COMPOSICIONALES DEBIDOS A LA METEORIZACIÓN

Mediante el estudio de rocas silicáticas frescas y descompuestas se ha determinado el siguiente cambio composicional:

Decrecimiento de SiO_2 , MgO , CaO , Na_2O y K_2O

Aumento de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2

ORDEN DE ELIMINACIÓN DE ÓXIDOS DURANTE LA METEORIZACIÓN

(GOLDICH, 1938)



RESISTATOS

ÍNDICES DE METEORIZACIÓN

Los índices de meteorización son ecuaciones que, sobre la base del análisis químico de las rocas, permiten conocer el grado de descomposición.

El cálculo de los índices se basa en las relaciones entre los óxidos menos móviles o resistentes (esencialmente Al_2O_3) y los más móviles o solubles en condiciones superficiales (CaO , Na_2O , K_2O).

ÍNDICES DE METEORIZACIÓN

Índices de Englund y Jorgensen (1973)

$$M1 = (\text{FeO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$$

$$M2 = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{FeO} + \text{MgO})$$

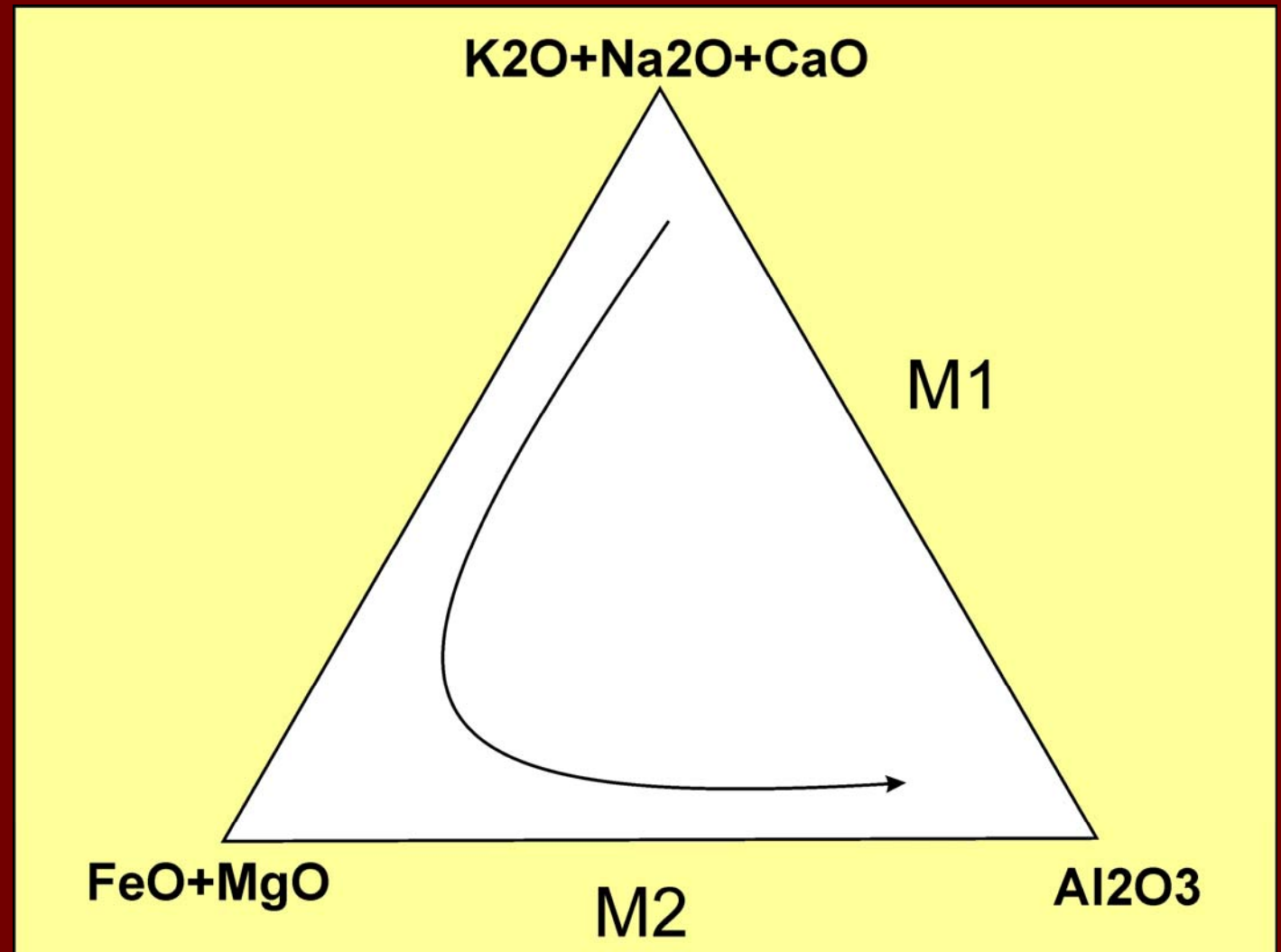
Índice de Nesbitt y Young (1982)

Chemical Alteration Index

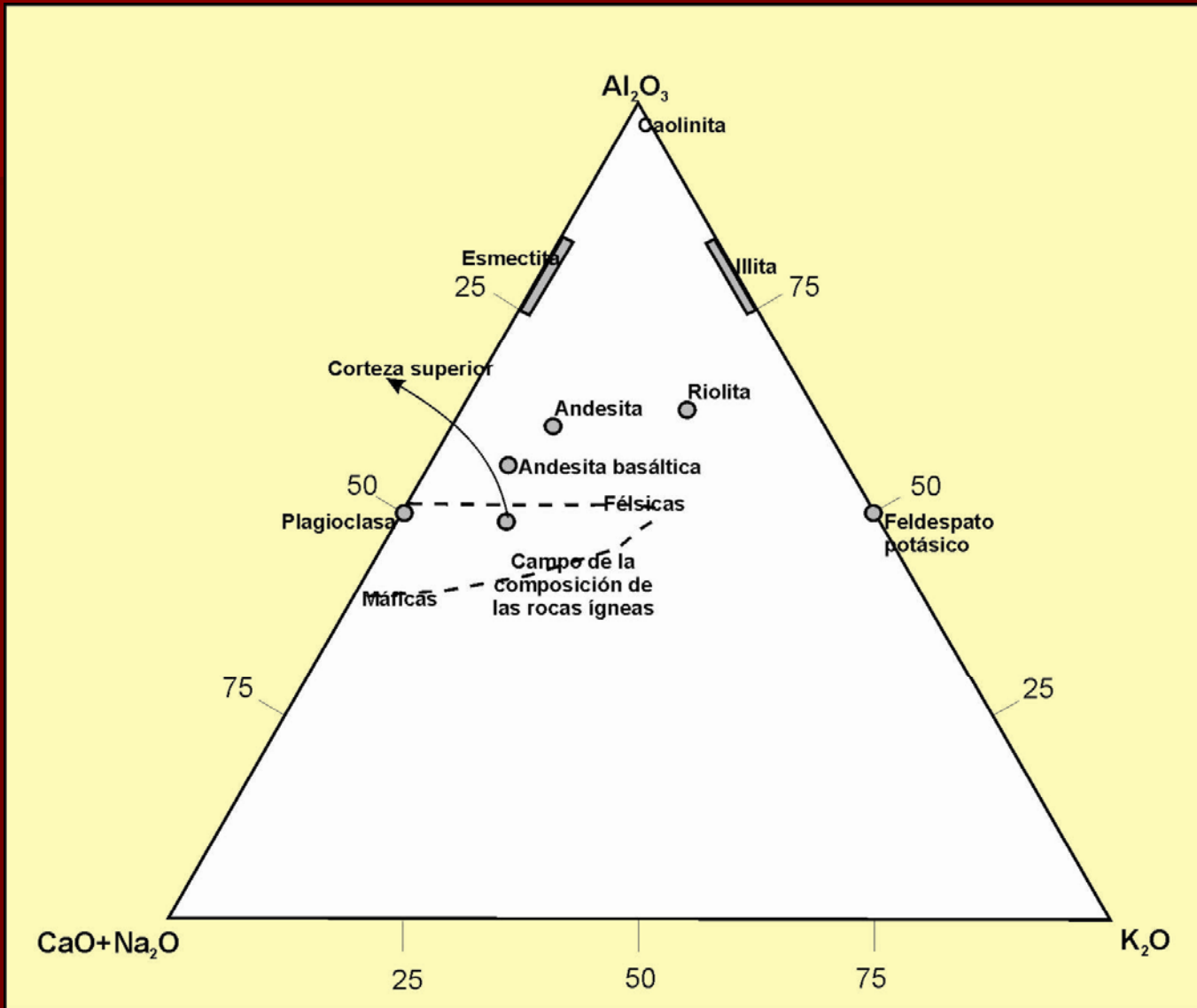
$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO en silicatos})] \times 100$$

LOS ÍNDICES DE MADUREZ DE ENGLUND Y JORGENSEN EN REPRESENTACIÓN TRIANGULAR

Tendencias al aumento de madurez.
Primero M1 y luego M2.



EL CIA EN REPRESENTACIÓN TRIANGULAR



Chemical Alteration Index: ubicación de algunos tipos de rocas ígneas, feldespatos y principales argilominerales.

PRODUCTOS DE LA METEORIZACIÓN - DEFINICIONES BÁSICAS

Manto de alteración. Es todo el espesor de material rocoso que se encuentra bajo el proceso de meteorización.

Saprolito. Es la roca que ha sido meteorizada y que puede conservar parte de los materiales originales. Aún cuando esta masa está transformada por meteorización es aún posible reconocer a la roca madre. El término **grus** se aplica a rocas granudas que han sufrido el proceso de desintegración.

Regolito. Es una roca meteorizada, totalmente desagregada y que ha incorporado materiales producto de aportes externos.

Residuos. Es el material remanente que permanece *in situ* una vez que la roca ha sido meteorizada y parte de sus componentes originales han sido removidos por erosión o eluviación.

Detritos. Materiales sólidos, productos de la meteorización, que son eliminados por erosión y transporte mecánico.

Iones. Material que muy comúnmente es eliminado por aguas circulantes (superficiales, por percolación o ascenso capilar) y que se moviliza como *carga en solución*. Una parte puede ser absorbida por plantas y animales como nutrientes. Otra parte puede ser reincorporada al saprolito o manto de alteración como integrante de nuevos minerales (*minerales autógenos*).

FACTORES DE LOS QUE DEPENDE LA METEORIZACIÓN

Composición y rasgos físicos de las rocas a ser meteorizadas.

Condiciones ambientales: clima

ambiente hidrológico

ambiente biológicos

pH del ambiente.

Fisiografía, topografía.

Tiempo

Frecuencia de los procesos

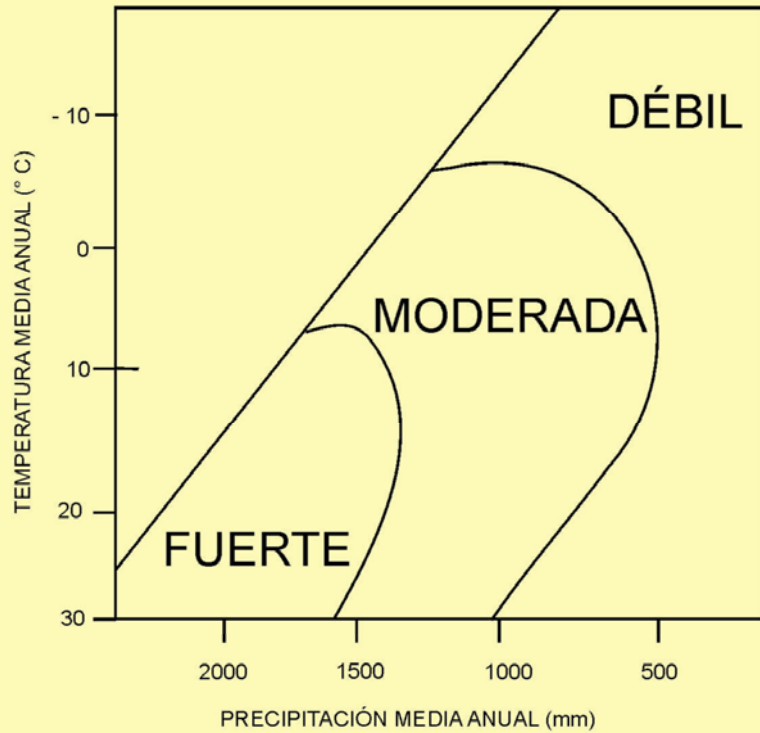
La composición de las rocas es un factor esencial, ya que se trata del material que va a ser sometido al proceso de desintegración y descomposición.

Los rasgos físicos de las rocas, tales como su porosidad, presencia de fracturas y microfisuras, planos de estratificación. Son de gran importancia en lo que se relaciona con capacidad para permitir o impedir el pasaje del agua y de las soluciones a través de la masa. La presencia de oquedades y planos de debilidad favorece el contacto de los cristales de minerales con los agentes capaces de producir su descomposición y desintegración.

Las condiciones ambientales, y particularmente el **clima** (relaciones entre temperatura y humedad), constituyen un factor de alta significación en determinar el tipo e intensidad de los procesos de descomposición y desintegración.

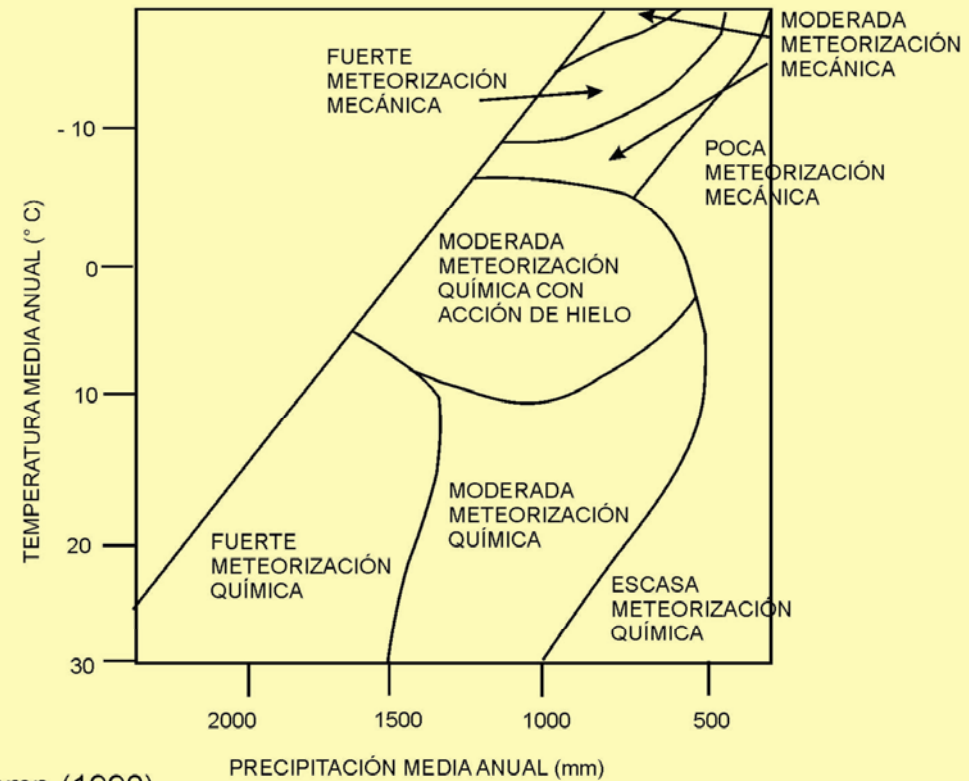
A ello deben sumarse los **ambientes hidrológicos y biológicos**, condicionantes esenciales de los procesos de meteorización.

INTENSIDAD DE LA METEORIZACIÓN QUÍMICA



Peltier (1950), Cooke y Doorkamp (1990)

INTENSIDAD Y TIPOS DE METEORIZACIÓN SEGÚN LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD



Otro de los factores ambientales es el fisiográfico, en especial la **topografía**. En este caso, los afloramientos de rocas en regiones de relieve moderado (sierras bajas, colinas, lomadas) son los más susceptibles a la meteorización. En relación con el factor climático, tanto la **ubicación latitudinal** como la **altura absoluta** desempeñan un roles fundamentales en la intensidad y en los tipos de procesos de meteorización.

Asimismo debe tenerse especial consideración al **tiempo** en el que los procesos de meteorización operan sobre una masa de roca, y la **frecuencia** con que dichos procesos son activos.