

INDICES DE ALTERACION GEOQUIMICOS-EDAFOGENETICOS: SU APLICACION A SUE-- LOS DE LA VERTIENTE NORTE DE LA SIERRA DE GREDOS

Gallardo, J.F.

Centro de Edafología y Biología Aplicada. C.S.I.C. Salamanca.

Resumen

Sobre un conjunto de perfiles de alteración de diversos mate--
riales se han aplicado varios índices de meteorización entre --
los propuestos en la bibliografía, sometiendo los resultados a
tratamiento estadístico. Los índices que utilizan cantidades --
de minerales son poco efectivos e implican todas las dificulta--
des de determinaciones mineralógicas cuantitativas. Los Índi--
ces basados en análisis químicos se han mostrado útiles cuando
su expresión es un reflejo sencillo de los cambios mineralógi--
cos (Al_2O_3/CaO , K_2O/Na_2O , etc.).

Una discusión crítica resalta dos aspectos diferentes, que se--
han confundido con frecuencia. La distinción entre los predomi--
nios relativos del proceso inorgánico normal de meteorización--
y del edáfico propiamente dicho puede hacerse utilizando el --
IMP, (v.g.: para valores inferiores a 80 los suelos presentan
un neto desarrollo). Se apunta que la valoración en intensidad
de cada uno de los dos mecanismos citados ha de obedecer a cri--
terios diferentes.

INTRODUCCION

Es frecuente encontrar en la Bibliografía referencias al grado de meteo--
rización del suelo, pretendidamente deducible de su morfología o de al--
gún índice, bien geoquímico, bien mineralógico.

Dado que ello pudiera introducir algún grado de subjetivismo (no deseaa--
ble) sería conveniente encontrar relaciones entre los numerosos índices
propuestos existentes, bien por países, zonas o regiones, de tal manera
que se delimite el margen de fiabilidad de cada uno de los referidos ín--
dices y señalar, dentro de éstos, cuál (o cuales) es (son) más conve--
niente (s).

Los índices geoquímicos utilizados en Edafología son muy numerosos y --
suelen relacionar los diferentes componentes químicos de las rocas (en--
general, expresados en óxidos) y horizontes edáficos; no obstante, mien--
tras que algunos de dichos índices toman como referencia la sílice (al--
considerarla poco movilizable), otros toman el aluminio o, incluso, el--
potasio. En muchos casos, se recomienda el uso de moles (átomos gramos),
pero a veces se prefieren porcentajes (en peso), presuponiendo que las--
correlaciones entre parámetros expresados en moles o, bien en porcenta--

jes, suelen ser altamente significativas, lo cual es cierto en la casi-totalidad de los casos.

Estos índices pueden tener dos orientaciones: una edáfica (s.s.), en la que tiende a ponderar el efecto del clima y la biología sobre la roca, - por lo que presentan un fuerte componente empírico, y otro mineralógico, que tienden a reflejar la evolución y cambios mineralógicos; no obstante, su separación es, en algunos casos, difícil. Así, por ejemplo, (dicho con todas las reservas pertinentes), en el primer grupo se encuentra el "Índice de alteración" $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ que intenta reflejar la podsolización, mientras que el segundo estaría el "grado de meteorización" $(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO})$, donde se desea relacionar silicatos totales contra presencia y descomposición de anortita, en el caso de granitoides.

INDICES DE ALTERACION PROPUESTOS

A continuación se señalan los índices geoquímicos que se utilizarán en este trabajo, incluyendo entre paréntesis el nombre del autor que lo ha propuesto o utilizado frecuentemente, asignando a cada uno una nomenclatura convencional para evitar al máximo posible equívocos entre abreviaturas.

- Índice de meteorización potencial (IMP, GARCIA y SAAVEDRA)

$$\text{IMP} = 10.2 \text{ CaO} + 13.1 \text{ MgO} + 8.1 \text{ K}_2\text{O} + 10.5 \text{ Na}_2\text{O}$$

- Índice de lavado (IL, JENNY)

$$\text{IL} = \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$$

- Índice de lavado de bases (ILB, JENNY)

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

- Índice edáfico de madurez (IEM, JACKSON)

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

- Índice de meteorización (IM, RUXTON)

$$\text{IM} = \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$$

- Índice de alteración (IA, RUXTON)

$$\text{IA} = \text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

- Índice de meteorización edáfica (IME, REICHE)

$$\text{IME} = \text{SiO}_2/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$$

- Grado de lavado (GL, PEDRO)

$$GL = (Na_2O + K_2O)/SiO_2$$

- Grado de caolinización (GC, PEDRO)

$$GC = (SiO_2 - 2Al_2O_3)/(CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$$

- Grado de meteorización (GM)

$$GM = Al_2O_3/CaO$$

Existen aún más índices, relativos a ciertos materiales tomados como base, sobre todo aquellos que relacionan horizontes con la roca considerada original; aunque no se utilizarán, se citan como frecuentes:

- Factor de alteración (FA, RUXTON)

$$FS = (IAP)_{horizonte}/(IAP)_{roca}$$

- Índice edáfico de argilización (IEA)

$$IEA = (Al_2O_3)_{arcilla}/(Al_2O_3)_{total}$$

- Factor de lavado (FL, JENNY)

$$FL = (GL)_{horizonte}/(GL)_{roca}$$

- Índice de alteración potencial (IAP, RUXTON)

$$IAP = \frac{CaO + MgO + K_2O + Na_2O - H_2O}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O}$$

Los índices mineralógicos (s.s.) son también numerosos y suelen referirse a los minerales constituyentes de la roca, (prescindiendo por completo de su composición química), enfrentando los que se consideran alterables frente a los más resistentes a la meteorización; se suelen, a veces, referir sólo bien a los minerales ligeros o, bien, únicamente a los pesados; su aplicación depende del tipo de roca de partida.

Aquí se han utilizado solamente los siguientes, recordando el empleo de una nomenclatura convencional:

- Grado de alteración (GA)

$$GA = (Cuarzo/Moscovita)/Biotita$$

- Grado de alteración de minerales pesados (GAP, RUHE)

$$GAP = (\text{Zircón} + \text{Turmalina}) / (\text{Anfiboles} + \text{Piroxenos})$$

- Grado de alteración de minerales ligeros (GAL, RUHE)

$$GAL = \text{Cuarzo} / \text{Feldespatos}$$

- Grado de alteración mineralógico (GAM, PETTIJOHN)

$$GAM = \frac{\text{Granate} + \text{Apatito} + \text{Biotita} + \text{Anfiboles} + \text{Piroxenos} + \text{Epidota}}{\text{Zircón} + \text{Turmalina} + \text{Rutilo} + \text{Moscovita} + \text{Magnetita}}$$

Puede apreciarse que tienen una aplicación muy concreta; por ejemplo, los parámetros en los que intervienen minerales tales como piroxenos y anfiboles darán poco resultado en rocas que carecen de ellos (granitos); se requiere un cierto mínimo de evolución mineralógica.

También se pueden utilizar otros índices formados al relacionar cada uno de los horizontes con la roca sana tomada de referencia constante, pero el problema se desata al ser difícil encontrar, en la práctica, una muestra ni alterada ni contaminada en la parte inferior del perfil, o cercano a él, con las debidas garantías de homogeneidad. Así, en áreas de zócalo premesozoico (v.g.: Oeste de la península ibérica), la sucesión de episodios de alteración ha sido numerosa, por lo que es muy probable la presencia de meteorizaciones relictas de diferentes intensidades y características, que se superponen a la actual, dificultando la identificación del proceso fundamental.

La aplicación de los índices de alteración origina, pues, frecuentes equívocos, pues no discrimina entre la resistencia de la roca a meteorizarse y el estado actual real de la misma (es lógico suponer que en una roca fácilmente alterable, normalmente se encontrará más intensamente alterada que una roca resistente); este problema se intenta solucionar en base a las citadas relaciones horizontes/roca madre, pero ya se ha dicho que no siempre es posible asegurar, ni la pureza genética ni la homogeneidad petrográfica en la zona estudiada, aún cuando los márgenes de oscilación de la composición química fluctúen poco; también hay que tener en cuenta los transportes alóctonos (con mayor o menor grado de alteración previa), tan frecuentes en países mediterráneos, que pueden-

contaminar suelos o, incluso, fosilizar éstos, parcial o totalmente, -- cuestión de especial gravedad en áreas como el Sistema Central, donde los desniveles continentales han sido operativos a lo largo de varios periodos geológicos.

MATERIAL Y METODOS

Se utilizan datos de suelos ubicados al Norte de la Sierra de Gredos, -- siguiendo aproximadamente el eje de la carretera Plasencia-Avila. A la selección de esta zona de estudio ha contribuido un conjunto de factores tales como: a) poseer un grado de información previo importante, y, en todo caso, superior a otras; b) poco contraste litológico, siendo -- bastante homogénea en cuanto a geología, predominando granitos y esquistos, con aureolas metamórficas localizadas; c) acentuado contraste entre suelos muy antiguos, respetados por la erosión, (cuyo origen primitivo habría que buscarlo a finales del Cenozoico), y suelos recientes, -- incluso Holocenos; d) que dicha zona puede ser ampliada fácilmente hacia el Sudoeste, sin otros problemas que la variación del factor climático (clima actual).

La zona, como se ha apuntado, es predominantemente granítica, aunque -- con áreas de esquistos y aureolas metamórficas (ARRIBAS Y JIMENEZ, ---- 1972); su descripción ecológica y la clasificación de los suelos existentes han sido publicados precedentemente, por lo que, en aras de brevedad, se remite a las publicaciones pertinentes (CEMBRANOS, 1978; CUCHI, 1978; EGIDO, 1978); también allí se han descrito convenientemente los métodos utilizados en las diversas determinaciones efectuadas; solamente, se transcriben sucintamente, a continuación, la descripción morfológica de los perfiles, agrupándose en la table 1 los datos analíticos y, en la tabla 2, la mimeralogía de arcillas.

Perfil: I

Situación: La Haya (Salamanca)
Altitud: 1.200 m. Posición fisiográfica: Ladera, 13 %
Orientación: Este Geología: Granito
Drenaje: Externo, excesivo; interno, lento
Uso y vegetación: Monte de Q. pyrenaica, con graníneas
Clasificación: Tierra parda policíclica (Phaeozem lúvico ?)

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.cm.</u>	<u>Morfología</u>
A	0 - 30	10 YR 4/3, húmedo; arenolimoso, migajoso; abundantes poros; abundantes raíces; pocas piedras graníticas; se distinguen dos subhorizontes; transición neta y plana a
2B	30-70	2.5 YR 3/6 y 10 YR 5/6, húmedo; arcilloarenoso; angular; cutanes; frecuentes poros; frecuentes raíces; transición gradual y -- plana a
2BC	+70	2.5. YR 3/6, con manchas negras, húmedo; - areno-arcilloso, angular; cutanes; frecuentes poros; frecuentes raíces; granito biotítico muy alterado.

Perfil : II

Situación: Tornavacas (Cáceres)
 Altitud: 1.020 m. Posición fisiográfica: ladera, 30 %
 Orientación: NO Geología: Pizarras y rocas ígneas básicas
 Drenaje: Externo, bueno; interno, bueno
 Uso y vegetación: Erial con Pteridium sp., Cytisus sp. y gramíneas
 Clasificación: Suelo pardo rojizo (Cambisol crómico)

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.cm.</u>	<u>Morfología</u>
A	0 - 50	5 YR 3/3, semihúmedo; arenolimoarcilloso, migajoso; abundantes poros; abundantes raíces; transición plana y gradual a
Bw	50-80	5 YR 5/8; semihúmedo; arenolimoarcilloso; subangular; frecuentes poros; frecuentes raíces; nivel de piedras graníticas, transición neta a
Cg	+80	5 YR 6/8, con manchas negras, húmedo; areno-limoarcilloso; subangular; pocos poros; muy pocas raíces.

Perfil: III

Situación: S. Bartolomé de Bejar (Avila)
 Altitud: 1.210 m. Posición fisiográfica: Llano
 Geología: Granito alcalino Drenaje: Externo, lento; interno bueno
 Uso y vegetación: Monte de Quercus pyrenaica
 Tipología: Tierra parda meridional (Cambisol dístico)

Uso y vegetación: Monte de Q. ilex, con Cytisus sp.
 Clasificación: Tierra parda lixiviada (Phaeozem lúvico ?)

Horizonte	Prof.cm.	Morfología
A	0 -15	7.5. YR 4/4, seco; arenoarcilloso; granular; abundantes poros; frecuentes raíces; transición ondulada y difusa a
B	15-40	7.5. YR 5/6, seco; arenoarcilloso; poliédrica; frecuentes poros; frecuentes raíces; transición difusa e interrumpida a
BwC	+40	Abirragado de amarillo, gris, rojo y blanco; arenolimoso; poliédrico; pocas raíces; efervescencia al HCl.

Perfil: VI

Situación: S. Juan del Olmo (Avila) Orientación:
 Altitud: 1.400 m. Posición fisiográfica: ladera 3 %
 Geología: Granodiorita Drenaje: externo, bueno; interno, lento
 Uso y vegetación: Erial con Ononis sp. y P. pinaster.
 Clasificación: Tierra parda húmeda (Cambisol aútrico)

Horizonte	Prof.cm.	Morfología
A	0 -15	7.5. YR 3/2, seco; arenoso; migajoso; abundantes poros; abundantes raíces; transición neta y plana a
Bw ₁	5 -40	7.5. YR 3/2, semihúmedo; gruesoarenoso; subangular; frecuentes poros; frecuentes raíces; transición difusa y plana a
Bw ₂	+40	10 YR 3/3, húmedo; angular; pocas raíces.

Perfil: VII

Situación: El Piornal (Cáceres)
 Altitud: 1.260 m. Posición fisiográfica: llano
 Geología: Adamelita porfídica Drenaje: externo, lento; interno, bueno
 Uso y vegetación: Erial con Erica australis, Viola sp., Arenaria sp.
Ranunculus sp.
 Clasificación: Ránker criptopodsólico (Cambisol húmico)

Horizonte	Prof.cm.	Morfología
A	0 -30	10 YR 2/2, seco; humoarenolimoso; migajoso; abundantes poros; abundantes raíces; frecuentes gravas y piedras graníticas;

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.cm.</u>	<u>Morfología</u>
ABw	30-45	transición difusa y plana a 10 YR 3/2, seco; arenolimoso; migajosa; -- abundantes poros; abundantes raíces; abun- dantes gravas y piedras; transición gra- dual y plana a
BwC	45-90	10 YR 6/3, seco; arenolimoso; subangular;- abundantes poros; abundantes gravas y pie- dras.

Perfil: VIII

Situación: Puerto de El Piornal (Cáceres)
 Altitud: 1.220 m. Posición fisiográfica: llano.
 Geología: Adamelita Drenaje: externo, lento; interno, lento
 Uso y vegetación: Monte de Q. pyrenaica, con Erica sp. Pteridium sp. y
Asphodelus sp.
 Clasificación: Tierra parda húmeda (Cambisol húmico)

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.cm.</u>	<u>Morfología</u>
A	0 -20	10 YR 3/3, seco; arenolimoso; migajoso; -- abundantes poros; abundantes raíces; fre- cuentes gravas y piedras graníticas; tran- sición gradual y plana a
Bw	20-50	10 YR 4/2, seco; arenolimoso; migajosa; -- frecuentes poros; pocas raíces; transición irregular y gradual a
R	+50	Adamelita alterada.

Perfil: IX

Situación: Sanchovejás (Avila)
 Altitud: 1.320 m. Posición fisiográfica: ladera, 6%
 Orientación: Norte Geología: Granodiorita
 Drenaje: externo, bueno; interno, bueno
 Uso y vegetación: Monte de P. pinaster, con Cytisus sp.
 Clasificación: Tierra parda húmeda (Cambisol eútrico)

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.cm.</u>	<u>Morfología</u>
A	0 -5	7.5 YR 2/0, semihúmedo; arenoso; migajoso; abundantes poros; pocas raíces; transición neta y plana a
Bw	5 -25	7.5 YR 4/4, semihúmedo; arenoso; subangu- lar, frecuentes poros; frecuentes raíces;-

<u>Horizonte</u>	<u>Prof.cm.</u>	<u>Morfología</u>
BwC	+25	transición neta y ondulada a 2.5 YR 3/6, semihúmedo; arenoso; subangular frecuentes poros; frecuentes raíces.

RESULTADOS.-

Se han ensayado ecuaciones lineales y exponenciales entre cada par de parámetros considerados (véase más arriba), utilizando tanto molaridades como porcentajes; de todas las relaciones obtenidas se han seleccionado las que originaron mayor coeficiente de regresión, detallándose a continuación:

$$\text{IMP} = 2.21 e^{0.03 \text{ IEM}} \quad r = 0.94^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 28.9 + 128 \text{ IEM} \quad r = 0.87^{***} \text{ (en moles-)}$$

Se observa que el índice de meteorización potencial de la roca guarda estrecha relación con el índice edáfico de madurez; es decir, se confirma la hipótesis de que estos índices pueden reflejar tanto potencialidad de alteración como grado de alteración actual, sin discriminar.

$$\text{IEM} = 18.2e^{-0.08 \text{ IL}} \quad r = 0.89^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IEM} = 0.52 - 0.37 \text{ IL} \quad r = 0.73^{***} \text{ (en moles)}$$

Se comprueba, también, que una simple razón de alcalinos puede ser tan útil o indicativa como otros parámetros más complejos, al menos en este tipo de materiales; o, en otras palabras, que la intensidad de lavado de un suelo puede ser un signo de madurez edáfica.

$$\text{IMP} = 1.19 e^{-0.04\text{GM}} \quad r = 0.85^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 82.7 e^{-0.004\text{GM}} \quad r = 0.66^{***} \text{ (en moles)}$$

Como vemos, la razón alúmina/calcio (GM) está inversamente relacionada con el índice de meteorización potencial; no obstante es de observar, -

como en otros casos, que los coeficientes de regresión difieren sensiblemente según se utilicen en porcentajes o en moles, siendo paradójicamente en general más altos para los primeros, contrariamente a lo esperado.

$$\text{IMP} = 0.40 + 0.10 \text{ GL} \quad r = 0.79^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 29.8 + 718 \text{ GL} \quad r = 0.72^{***} \text{ (en moles)}$$

También el grado de lavado (alcalinos/sílice) está directamente relacionado con el índice de meteorización potencial.

$$\text{IMP} = 16.7 - 0.14 \text{ IL} \quad r = 0.76^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 99.6 - 5.59 \text{ IL} \quad r = 0.76^{***} \text{ (en moles)}$$

Según estas relaciones, es indistinto utilizar índice de lavado o grado de lavado.

$$\text{IMP} = 28.4 + 109 \text{ ILB} \quad r = 0.92^{***} \text{ (en moles)}$$

$$\text{IMP} = 35.1 + 182 \text{ ILB} \quad r = 0.86^{***} \text{ (en \%)}$$

Se constata una vez más que estos parámetros son equívocos, en el sentido que están directamente relacionados la facilidad de meteorización de la roca (IMP) con la intensidad de lavado de bases además, esto es uno de los pocos casos donde el coeficiente de regresión es más alto expresado en moles que en porcentajes.

$$\text{IMP} = 0.87 e^{0.01 \text{ IM}} \quad r = 0.66^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 37.7 + 7.95 \text{ IM} \quad r = 0.62^{***} \text{ (en moles)}$$

De nuevo meteorización potencial y real de la roca se encuentran directamente relacionados; de ahí la conveniencia de utilizar regiones geológicas muy homogéneas

$$\text{IMP} = -57.9 + 175 \text{ IME} \quad r = 0.66^{***} \text{ (En moles)}$$

$$\text{IMP} = 0.41 e^{0.01 \text{ IME}} \quad r = 0.65^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IEM} = 4.63 + 0.18 \text{ GL} \quad r = 0.59^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IEM} = 0.13^{13.1} \text{ GL}$$

$$r = 0.54^{**} \text{ (en moles)}$$

De la observación de estas ecuaciones se puede inferir que no siempre - el mejor índice es el que se deduce de un parámetro más complicado; por otra parte, se observa que la significancia disminuye al relacionarse - el índice edáfico de meteorización y el grado de lavado

$$\text{IMP} = 41.1 + 8.48 \text{ IA} \quad r = 0.59^{***} \text{ (en moles)}$$

$$\text{IMP} = 0.25 + 0.02 \text{ IA} \quad r = 0.58^{***} \text{ (en \%)}$$

Se tiene otra vez el círculo vicioso de "se encuentran más alterados, - los materiales más alterables y viceversa", aunque continúe la alta sig- nificancia.

Cuando se representa gráficamente IMP frente a GC, se obtienen curvas - en "U invertida", esto es, cuando el valor de IMP baja, le corresponden dos valores del grado de caolinización. Esto tiene un claro significa-- do: en la alteración, siguen dos posibles caminos divergentes: caolini- zación o bisialización; es necesario, pues, ajustar ecuaciones de segun- do grado, de donde se obtiene:

$$\text{IMP} = 44.8 + 18.8 \text{ GC} + 1.8 (\text{GC})^2 \quad r = 0.80^{***} \text{ (en moles)}$$

$$\text{IMP} = 75.5 + 2.01 \text{ GC} - 0.17 (\text{GC})^2 \quad r = 0.72^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{GC} = -13.9 + 0.19 \text{ IMP} + 0.0002 (\text{IMP})^2 \quad r = 0.63^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{GC} = -2.95 + 0.16 \text{ IMP} - 0.001 (\text{IMP})^2 \quad r = 0.37^* \text{ (en moles)}$$

Se repite, pues, el hecho de que la significancia varía según se utili- cen porcentajes o moles, primando el empirismo sobre el significado --- científico. Más aún, se ha intentado proponer un nuevo índice (Y) que - de alguna manera tenga sentido geoquímico; así, si consideramos la ra-- zón (anortita + biotita / cuarzo + ortosa + moscovita), de sus fórmulas químicas, (haciendo simplificaciones tales como la no consideración de- minerales neoformados), se obtiene lo siguiente:

$$Y = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 - 6\text{Na}_2\text{O} - 5\text{K}_2\text{O} - 2\text{CaO} - \text{MgO})$$

que intentando relacionar con otros índices, sólo se obtiene alto nivel

de significancia con el índice edáfico de meteorización

$$\text{IEM} = 0.14 e^{4.42Y} \quad r = 0.62^{***} \text{ (en moles)}$$

$$Y = 0.06 + 0.27 \text{ IEM} \quad r = 0.56^{***} \text{ (en moles)}$$

mientras que las demás relaciones son menos o nada significativas, como por ejemplo:

$$Y = 0.07 + 0.20 \text{ ILB} \quad r = 0.49^{**} \text{ (en moles)}$$

$$\text{IMP} = 48.9 + 143 Y \quad r = 0.48^{**} \text{ (en moles)}$$

Por tanto, en la bondad de las relaciones sigue dominando el empirismo. Los índices mineralógicos empleados dan aún menos significancia (aunque hay que considerar el menor número de valores), mereciendo sólo indicar aquí, a título orientativo:

$$\text{GAP} = 0.33 e^{-0.04 \text{ GAM}} \quad r = 0.51^* \text{ (en \%)}$$

Ampliación de la zona:

Intentemos ahora aplicar las relaciones anteriores (escogiendo aquellas significativas), no ya a un área definida, sino a una Región amplia como puede ser el Centro-Oeste español; así, tomando 92 valores, correspondiente a 28 suelos ubicados en Extremadura y las provincias de Salamanca y Avila (desarrolladas sobre rocas paleozoicas e ígneas; CEMBRANOS, 1978), los resultados son los siguientes:

$$\text{IMP} = 54.5 + 4.55 \text{ ILB} \quad r = 0.83^{***} \text{ (en moles)}$$

$$\text{IMP} = 32.2 + 28.1 \text{ IA} \quad r = 0.79^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = -315 + 562 \text{ IME} \quad r = 0.66^{***} \text{ (en moles)}$$

$$\text{IMP} = 8.52 e^{3.63 \text{ IME}} \quad r = 0.66^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 83.8 e^{-0.004 \text{ GM}} \quad r = 0.62^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IEM} = 0.31 e^{-0.11 \text{ IL}} \quad r = 0.51^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 53.3 e^{0.07 \text{ IM}} \quad r = 0.51^{***} \text{ (en \%)}$$

$$\text{IMP} = 94.9 - 5.26 \text{ IL} \quad r = 0.44^{***} \text{ (en moles)}$$

$$\text{IMP} = 61.2 e^{0.02 \text{ IEM}} \quad r = 0.44^{***} \text{ (en \%)}$$

IMP = 32.5 + 8.03 GL	r = 0.43 ^{***} (en moles)
IEM = 20.0 e ^{0.08} GL	r = 0.21 [*] (en moles)
GC = -8.6 + 0.11 (IMP) - 0.0002 (IMP)	r = 0.63 ^{***} (en %)
GAP = 147 e ^{-0.22} GAM	r = 0.60 ^{***} (en %)
IEM = 0.42 - 0.02 Y	r = 0.49 ^{***} (en moles)
Y = 3.70 - 11.6 IEM	r = 0.49 ^{***} (en moles)

Destacan por su alto índice de correlación las ecuaciones IMP/ILB e IMP/IA, siendo ILB e IA dos parámetros que indican respectiva y simplemente, lavado de bases y sílice (respecto a sesquióxidos); por tanto, se vuelve a la aseveración de que a mayor potencialidad de meteorización generalmente corresponde mayor alteración real. Los índices de correlación para las ecuaciones IEM/IL, IMP/IL, IMP/IEM, IMP/GL, e IEM/Y-son, ahora, considerablemente más bajos que anteriormente, pudiendo indicar que las referencias respecto a potasio y sílice no son convenientes en este caso.

DISCUSION

Cuando se observa la tabla 1, se comprueba que en general, todos los índices de meteorización potencial (GARCIA SANCHEZ Y SAAVEDRA, 1976) decrecen al ascender a los horizontes superficiales; es decir, que dichos índices expresan una alteración creciente. Es excepción el perfil I, de carácter policíclico, pudiéndose comprobar morfológica y químicamente que la mayor alteración se encuentra a nivel del horizonte 2B, teniendo el primer "sequum" un carácter alóctono; por otra parte, el perfil II se ha formado a partir de material coluvionado, fuertemente alterado, pudiéndose observar también un alto contenido en caolinita, que domina sobre cualquier otro mineral de arcilla; esta caolinita es fundamentalmente heredada y su porcentaje suele ser más alto en los restos de los antiguos horizontes argílicos (Bt) o en la transición a los horizontes de mera roca alterada (perfiles I y IV, respectivamente).

El perfil IV presenta aportaciones más modernas que se han mezclado, al menos superficialmente, con el material alterado "in situ", aunque no se haya fosilizado tanta potencia de suelo como en el caso del perfil I.

Todos estos suelos, con horizontes B y abundante caolinita (tabla 2), - son los que más bajo IMP poseen (tabla 1). También presenta bajo IMP el perfil III, el cual se ha formado con arena granítica coluvionada y que rellena la llanura de pié de monte, formándose suelos con material previamente alterado.

El perfil se encuentra entre los suelos de fuerte y débil alteración; - se ha formado sobre esquistos anfibolíticos, de fácil alteración, por - lo que se entra otra vez en la ambigüedad de estos índices; no obstante la abundancia de montmorillonita (tabla 2) nos inclina a asignarle un - estado de desarrollo avanzado.

Por último, quedan aquellos suelos que sólo ocasionalmente presentan mi-
nerales neoformados de la arcilla (tabla 2), y que, concordantemente, -
presentan unos IMP altos (próximos o superiores a 80): se tratan de sue-
los jóvenes, sin horizontes iluviales, sometidos a condiciones desfavore-
rables de evolución y, en algunos casos, a erosión intermitente; por --
tanto las diferencias de índices entre roca y horizontes deberían ser y
son poco acusadas (tabla 1); a veces sufren coluvionamientos, lo que --
queda reflejado en, v.g.: el horizonte A₁ del perfil VII.

Si se considera ahora el índice de caolinización (GC), se observa (ta-
bla 1) que los perfiles I, II y IV, teóricamente no tienen (o tienen --
muy poca) sílice en exceso, lo que concuerda con el fuerte contenido --
caolínico (tabla 2); el perfil III (cuya mineralogía no se ha determi-
nado), presenta por el contrario fuerte exceso de sílice, que debe pro-
venir del cuarzo y silicatos aún no alterados (arena granítica, vease -
más arriba). En los demás perfiles hay un exceso (más o menos acusado)-
de sílice que, naturalmente indica una tendencia a la bisialitización,-
con formación de montmorillonita (perfil V) y/o ilitas (perfiles VI y -
IX).

CONCLUSIONES

A partir de lo observado anteriormente, (tabla 1) se puede emitir la hi-
pótesis de que alrededor de un IMP de 80, se clasifica lo que es un ma-
terial simplemente alterado o, si acaso, un suelo incipiente (esto es,-
valores superiores a 80, reflejando el índice potencialidad o facilidad

de meteorización del material rocoso) y lo que es ya un suelo evolucionado o materiales previa y profundamente edaficados (o sea, valores inferiores a 80, tanto más, cuanto haya actuado más intensamente el proceso edáfico).

Como consecuencia de ello, los índices aplicados precedentemente tienen, en general, una limitada validez, aunque pueden ser útiles, en algunos casos, para delimitar, a nivel general, hasta donde los estadíos se pueden considerar simple alteración y desde dónde hay que tener en cuenta la edafización; para la zona escogida y utilizando el índice de meteorización potencial se puede considerar 80 el valor límite, según se ha señalado precedentemente.

Por otra parte, y mientras no se encuentre un índice inequívoco, menos empírico y con fundamento geoquímico, se debe utilizar preferiblemente parámetros sencillos (v.g.:IL) a otros más complicados (IEM, Y, etc) -- que no aportan nada nuevo.

BIBLIOGRAFIA

- ARRIBAS, A.; JIMENEZ, E. (1972): "Avila". Mapa geológico de España. --- 1:200.000. I.G.M.E. Madrid.
- CEMBRANOS. M. (1978): "Influencia de la roca madre en la constitución química y mineralógica de diferentes tipos de suelos del Centro-Oeste de España". Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.
- CUCHI, M.J. (1978): "Génesis y clasificación de suelos del Sistema Central (Sierras de Gredos y Gata)". Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid.
- EGIDO. J.A. (1978): "Contribución al estudio edafoquímico de suelos forestales". Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.
- GARCIA, A.; SAAVEDRA. J. (1976): "Sobre el concepto y aplicación de un nuevo índice de meteorización a la edafoquímica y prospección de elementos trazas en terrenos graníticos". Tecniterrae 11, 1-11

Agradecimiento:

El Autor agradece la revisión crítica del trabajo del Dr. J. SAAVEDRA - ALONSO; también desea hacer constar el apoyo estadístico recibido de -- D. Juan F. BUSTOS y D^a Concepción PEREZ.

Perfil	Horizonte	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	pF	IMP
		%	total %	libre %	total %	libre %	%	%	%	%	%	%	%	%
I	A ₁₁	37	29	0.8	10	1.3	0.1	0.2	2.1	2.5	0.2	0.7	18	53
	A ₁₂	37	32	1.3	10	1.5	0.1	0.1	1.8	2.3	0.2	0.3	16	45
	2B	37	33	1.2	12	2.1	0.1	0.1	1.0	1.2	0.1	0.3	16	25
	2BC	37	34	1.0	11	1.8	0.1	0.1	0.8	0.9	0.1	0.3	16	19
	R	67	15	N.D.	3.6	N.D.	0.1	2.8	0.1	1.9	5.6	0.2	6	112
II	A	35	31	3.5	12	2.5	0.4	0.6	1.5	1.4	0.2	0.3	18	40
	Bw	36	29	2.4	15	2.6	0.1	0.2	1.8	1.1	0.1	0.3	16	37
	Cg	38	30	2.8	13	2.8	0.1	0.4	1.4	1.1	0.1	0.1	17	34
III	Bw ₁	67	20	0.4	5.9	0.9	N.D.	0.2	1.9	3.0	0.4	1.0	6.9	56
	Bw ₂	68	20	0.4	5.9	0.9	N.D.	0.1	1.4	3.5	0.4	0.8	7.5	50
	Bw	66	17	0.4	5.0	0.7	N.D.	0.04	1.5	3.0	0.2	1.0	6.8	47
	R	72	18	N.D.	2.2	N.D.	N.D.	0.04	0.7	6.7	0.7	0.2	-	70
IV	A	38	27	1.6	13	2.1	0.2	0.2	2.8	2.7	0.2	0.7	16	63
	ABw	40	29	1.2	12	1.9	0.3	0.3	2.6	2.9	0.2	0.7	15	64
	Bw	39	30	0.9	10	1.4	0.1	0.1	2.3	2.7	0.2	0.7	15	56
	Cg	39	30	1.5	12	3.9	0.1	0.1	1.6	2.0	0.2	0.4	16	40
V	A	45	23	1.0	7.6	2.8	0.1	0.9	3.3	2.3	0.2	0.5	17	74
	B	46	23	1.2	8.0	2.9	0.1	1.1	3.3	1.6	0.2	0.5	17	70
	BwC	47	24	0.8	8.6	1.9	0.1	1.7	4.3	0.7	0.4	0.3	14	84
VI	A	40	26	0.5	8.8	0.8	0.2	0.8	2.8	3.2	1.0	0.7	17	83
	Bw ₁	41	27	0.4	10	0.5	0.3	0.6	2.9	3.3	0.9	0.8	13	80
	Bw ₂	42	26	0.5	10	0.8	0.2	0.6	3.2	3.2	0.6	1.0	13	82
	R	69	15	N.D.	3.8	N.D.	0.1	2.1	1.3	4.6	3.9	0.5	0.8	115
VII	A ₁	61	17	0.9	5.7	0.9	N.D.	1.4	1.4	4.8	2.4	0.4	24	96
	ABw	67	17	1.6	6.5	0.7	N.D.	1.1	1.3	3.7	2.0	2.1	11	79
	BwC	64	21	1.3	5.8	0.5	N.D.	1.0	1.5	3.7	1.8	1.3	8.8	78
	R	65	16	N.D.	3.8	N.D.	N.D.	1.2	1.2	5.4	2.6	0.9	-	99
VIII	A	65	20	0.9	5.3	0.6	N.D.	1.1	1.6	4.6	1.3	1.3	12	84
	Bw	62	21	1.2	5.1	0.7	N.D.	0.8	1.4	5.5	1.2	1.2	9.7	84
	R	62	18	N.D.	6.5	N.D.	N.D.	2.0	1.8	4.6	3.0	0.9	-	113
IX	A	41	20	0.8	12	1.3	0.3	0.7	3.5	3.2	0.8	1.1	18	87
	Bw	42	18	0.7	13	1.3	0.3	0.5	3.6	3.2	0.7	0.8	18	87
	BwC	38	22	0.8	13	1.6	0.3	0.7	3.8	2.8	0.4	0.9	18	84

Tabla 1.1. Datos analíticos e índices.

Perfil	Horizonte	GC		IEM		IL		GM		GL		ILB	
		%	moles	%	moles	%	moles	%	moles	%	moles	%	moles
I	A ₁₁	-4.20	0.67	7.8	0.19	12.5	9.50	145	78.9	7.3	0.05	0.10	0.21
	A ₁₂	-6.14	0	6.2	0.15	11.5	8.75	320	174	6.8	0.04	0.10	0.16
	2B	-12.1	-0.5	3.5	0.08	12.0	9.14	330	180	3.5	0.02	0.04	0.09
	2BC	-16.3	-1.33	2.9	0.07	9.0	6.86	340	185	2.7	0.02	0.03	0.07
	R	3.70	5.13	50	0.78	0.3	0.26	5	2.94	11.2	0.09	0.57	0.88
II	A	-7.30	-0.29	7.2	0.16	7.0	5.32	52	28.4	4.6	0.03	0.10	0.17
	Bw	-6.88	0.67	7.0	0.17	11.0	8.36	145	78.9	3.3	0.02	0.10	0.18
	Cg	-7.33	0.83	6.1	0.14	11.0	8.36	75	41.4	3.2	0.02	0.10	0.15
III	Bw ₁	4.91	8.00	11.0	0.25	7.5	5.70	100	54.4	5.1	0.12	0.13	0.29
	Bw ₂	5.19	8.11	7.9	0.18	8.8	6.64	200	109	5.7	0.04	0.10	0.22
	Bw	6.81	11.0	8.5	0.21	15.0	11.4	425	239	4.9	0.03	0.10	0.25
	R	4.44	8.40	5.6	0.11	9.6	7.35	450	253	10.3	0.07	0.10	0.16
IV	A	-2.71	2.90	11.0	0.26	13.5	10.3	135	73.6	7.6	0.05	0.12	0.29
	ABw	-3.00	1.00	10.0	0.23	14.5	11.0	97	52.6	2.8	0.05	0.11	0.26
	Bw	-3.96	0.78	7.9	0.19	13.5	10.3	300	163	7.4	0.05	0.10	0.21
	Cg	-5.39	1.17	5.9	0.14	10.0	7.61	300	163	5.6	0.04	0.10	0.15
V	A	-0.15	2.23	18.0	0.40	11.5	8.75	26	14.0	5.6	0.04	0.19	0.45
	B	0	2.58	18.0	0.43	8.0	6.07	21	11.5	3.9	0.03	0.20	0.47
	BwC	-0.14	1.88	26.0	0.59	1.8	1.34	14	7.73	2.3	0.02	0.27	0.61
VI	A ₁	-1.54	1.15	16.0	0.34	3.2	2.45	33	17.8	10.5	0.07	0.18	0.39
	Bw ₁	-1.69	1.00	15.0	0.32	3.7	2.81	45	24.8	10.2	0.07	0.16	0.36
	Bw ₂	-1.32	1.39	15.0	0.34	5.3	4.10	43	23.8	9.1	0.06	0.17	0.39
	R	3.25	4.72	37.0	0.63	1.2	0.90	7	3.92	12.3	0.09	0.49	0.84
VII	A ₁	2.70	4.25	24.0	0.43	2.0	1.54	12	6.68	11.8	0.08	0.31	0.56
	ABw	4.07	9.05	21.0	0.39	1.9	1.42	16	8.52	8.5	0.06	0.26	0.48
	BwC	2.75	5.00	17.0	0.33	2.1	1.58	21	11.5	8.6	0.06	0.21	0.39
	R	3.17	5.07	24.0	0.41	2.1	1.59	13	7.34	12.3	0.09	0.31	0.56
VIII	A	2.91	5.23	16.0	0.32	3.5	2.70	18	10.0	9.1	0.06	0.20	0.40
	Bw	2.25	4.69	14.0	0.25	4.6	3.50	26	14.4	10.8	0.07	0.16	0.32
	R	2.13	3.53	30.0	0.54	1.5	1.17	9	4.96	12.3	0.09	0.38	0.69
IX	A	0.12	2.00	22.0	0.48	4.0	3.06	29	15.7	9.8	0.07	0.25	0.57
	Bw	0.75	2.43	23.0	0.52	4.6	3.51	36	19.9	9.3	0.06	0.27	0.62
	BwC	-0.78	1.27	20.0	0.46	7.0	5.32	31	17.3	8.4	0.06	0.22	0.52

Tabla 1.2. Datos analíticos e índices.

Perfil	Horizonte	IM		IME		IA		Y moles	GAP %	GAM %
		%	moles	%	moles	%	moles			
I	A ₁₁	1.3	2.17	0.48	0.63	0.9	1.78	0.14	0.55	2.3
	A ₁₂	1.2	1.97	0.46	0.62	0.9	1.64	0.11	0.17	2.9
	2B	1.1	1.90	0.45	0.61	0.8	1.55	0.05	0.85	1.2
	2BC	1.1	1.85	0.45	0.61	0.8	1.54	0.04	0.44	0.20
	R	4.5	7.62	0.78	0.87	3.5	6.59	0.12	--	--
II	A	1.1	1.92	0.45	0.60	0.8	1.54	0.11	0.15	0.15
	Bw	1.2	2.11	0.45	0.61	0.8	1.59	0.10	0.91	1.10
	Cg	1.3	2.15	0.47	0.63	0.9	1.69	0.08	0	0.02
III	Bw ₁	3.4	5.71	0.71	0.82	2.6	4.81	0.06	--	--
	Bw ₂	3.4	5.77	0.72	0.83	2.6	4.91	0.04	--	--
	Bw	3.9	6.59	0.74	0.84	3.0	5.56	0.04	--	--
	R	4.0	6.78	0.78	0.86	3.6	6.28	0.02	--	--
IV	A	1.4	2.39	0.48	0.64	1.0	1.83	0.19	7.0	0.30
	ABw	1.4	2.35	0.49	0.64	1.0	1.86	0.17	9.7	0.26
	Bw	1.3	2.21	0.49	0.64	1.0	1.82	0.14	11.0	0.13
	Cg	1.3	2.21	0.48	0.64	1.0	1.76	0.09	--	0.01
V	A	2.0	3.32	0.58	0.73	1.5	2.74	0.20	--	--
	B	2.0	3.39	0.59	0.73	1.5	2.78	0.19	--	--
	BwC	2.0	3.33	0.59	0.73	1.4	2.71	0.26	--	--
VI	A ₁	1.5	2.62	0.53	0.68	1.1	2.15	0.27	--	--
	Bw ₁	1.5	2.58	0.52	0.67	1.1	2.08	0.25	--	--
	Bw ₂	1.6	2.75	0.53	0.68	1.2	2.20	0.24	--	--
	R	4.6	7.82	0.78	0.87	3.6	6.73	0.15	--	--
VII	A ₁	3.6	6.11	0.69	0.83	2.7	5.03	0.13	--	--
	ABw	3.9	6.71	0.76	0.83	2.8	5.39	0.08	--	--
	BwC	3.1	5.19	0.70	0.80	2.4	4.42	0.09	--	--
	R	3.1	6.88	0.76	0.85	3.3	5.97	0.10	--	--
VIII	A	3.3	5.51	0.71	0.81	2.6	4.72	0.09	--	--
	Bw	3.0	5.00	0.70	0.81	2.4	4.33	0.09	--	--
	R	3.4	5.82	0.71	0.82	2.5	4.73	0.19	--	--
IX	A	2.1	3.49	0.55	0.72	1.3	2.52	0.30	--	--
	Bw	2.3	3.96	0.57	0.72	1.4	2.71	0.27	--	--
	BwC	1.7	2.93	0.51	0.67	1.1	2.13	0.33	--	--

Tabla 1.3. Datos analíticos e índices.

Perfil	Horiz.	A,%	Illitas	Vermiculita	Cloritas	Caolinita	Gibsitita	Motmorillonita	Cuarzo	Otros
I	A ₁₁	10.5	+++	+	+	++	p	+	+	I-V,H
	A ₁₂	18.5	+++	+	+	++	p	+	+	I-V,H
	2B	33.1	+++	+	-	+++	-	p	+	I-V,H
	2BC	26.3	++	+	-	+++	-	p	+	I-V,H
II	A	21.0	++	-	-	++	p	+	++	H
	Bw	19.0	+	-	-	+++	p	+	++	H
	Cg	19.7	++	-	-	+++	p	++	+	H
IV	A	12.9	++	++	+	++	p	++	+	I-V,H
	ABw	14.9	+++	+	+	++	p	+	+	I-V,H
	Bw	7.5	+++	+	+	++	p	p	+	I-V,H
	Cg	10.0	+++	+	p	+++	p	p	+	I-V,H
V	A	22.0	+++	-	p	+	-	+++	p	M-Cl,H
	B	26.4	+++	-	p	+	-	+++	p	M-Cl,H
	BwC	14.0	++	-	p	+	-	d	+	M-Cl,H
VI	A	8.7	d	-	-	+	-	-	+	H
	Bw ₁	6.6	d	-	-	+	-	+	+	H
	Bw ₂	6.5	d	-	-	+	p	+	+	H
IX	A	8.4	d	-	-	+	-	-	+	M-Cl,H
	Bw	8.5	d	-	-	+	-	-	+	M-Cl,H
	BwC	8.7	d	-	-	+	-	-	+	M-Cl,H

Clave:

p: <5%; raro
 +: 5-15; ocasional
 ++: 16-30; frecuente
 +++: 31-55; abundante
 d: > 55%; dominante
 H: Haloisita
 I-V, M-Cl: Intergrados

Tabla 2 . Mineralogía de arcillas