



Procesos de alteración y neoformación mineral en medios serpentínicos de Galicia

Weathering processes and mineral neoformation at serpentinite areas from Galicia (Spain)

CALVO, R.; MACIAS, F.; BUURMAN, P.

Se realiza un estudio de muestreos en distintos grados de alteración, desde roca fresca a fracción arcilla de horizontes edáficos. El orden de movilidades geoquímicas es $Mg > Si, Ca > Na \gg Al = Fe$, en una primera etapa, y un mayor enriquecimiento en Fe en los estadios más avanzados. El grado de alteración alcanzado se encuentra en una posición intermedia al obtenido para este tipo de rocas en áreas mediterráneas y tropicales y siempre es mucho menor que el observado sobre otros materiales básicos de Galicia. A pesar de que termodinámicamente las soluciones de suelos y arroyos se sitúan en un campo intermedio entre filosilicatos 1/1 y 2/1, estos últimos en medios de peor drenaje, la escasez de Al inhibe la formación de arcillas de tipo caolinita, siendo los productos de neoformación típicos en los medios más evolucionados oxihidróxidos de Fe y precipitados silíceos.

Palabras clave: serpentinita, alteración, geoquímica, arcillas, Galicia.

In a serpentinite area several samples with different degrees of weathering, ranging from fresh rock to clay fractions of soil horizons, were studied. During weathering, the geochemical mobility of the elements follows the order $Mg > Si, Ca > Na \gg Al = Fe$ in the initial phases, showing a greater approach to Fe pole in more advanced stages. The intensity of weathering is intermediate between that obtained for serpentinites in mediterranean and tropical areas, and never reaches the high levels found in other basic rocks of Galicia. The composition of stream waters and soil solutions falls between the stability fields of 1/1 and 2/1 layer silicates, last ones mostly in poorly drained areas. In spite of this fact, the scarcity of Al inhibit the formation of kaolinite; iron oxihydroxides and precipitated silica being the most typical secondary products in the more envolved environments.

Key words: serpentinite, weathering, geochemistry, clay, Galicia.

CALVO, R. (Dpto. Edafología. Fac. de Biología. Universidad de Santiago)

MACIAS, F. (Dpto. Edafología. Fac. de Biología. Universidad de Santiago)

BUURMAN, P. (Department. of Soil Science and Geology. Agricultural University. Wageningen)

INTRODUCCION

La infertilidad de algunas áreas con suelos formados sobre rocas serpentínicas se ha relacionado fundamentalmente con las características específicas de este material original. Sin embargo, no todas las áreas serpentinizadas presentan la misma apariencia en su cubierta vegetal y al lado de zonas estériles o con escasa vegetación, hay otras en las que no se observan diferencias con relación a la existente sobre materiales originales no serpentinizados. Estos hechos pueden explicarse como una consecuencia de la heterogeneidad de composición y distribución espacial de las facies serpentínicas originadas, debido a la gran variedad de materiales que pueden sufrir serpentización e incluso a las modificaciones locales de las condiciones de fertilidad originadas por los procesos de erosión y acumulación superficial.

Como una primera fase del estudio de los tipos y fertilidad de los suelos de áreas serpentinizadas de Galicia, se analizan en este trabajo los procesos de alteración y neoformación de arcillas que afectan a estos materiales.

MATERIAL Y METODOS

Dada la gran heterogeneidad de las áreas serpentinizadas, con variaciones importantes de la composición en distancias centimétricas, se ha optado por realizar un estudio estadístico, con una amplia recogida de datos (realizados por diferentes autores) de muestras en distintos estadios de alteración, desde rocas no o escasamente alteradas a componentes de la fracción arcilla en diferentes horizontes edáficos (Tablas 1 y 2).

PROCESOS DE ALTERACION DE ROCAS ULTRABASICAS DE GALICIA

En el proceso de alteración de los materiales geológicos tiene particular importan-

cia la definición precisa de la composición química y mineralógica del material de partida, las condiciones climáticas y fisicoquímicas del medio de alteración y el «tipo y grado de evolución alcanzado».

a) *Composición química y mineralógica del material inicial*

Desde el punto de vista mineralógico las rocas básicas y ultrabásicas de las áreas serpentinizadas de Galicia se caracterizan por la presencia de minerales ferromagnesianos y que han sido más o menos modificados a través de diferentes fases y tipos de metamorfismo, de los que la serpentización es el más frecuente. Las rocas susceptibles de ser serpentinizadas son extremadamente variables, dunitas, peridotitas de diversos tipos, gabros, rocas metamórficas diversas (eclogitas, anfíbolitas, esquistos básicos...), si bien el grado de serpentización sólo llega a ser total a partir de rocas ultrabásicas.

Los minerales primarios son transformados o sustituidos por otros en equilibrio con las condiciones características de la serpentización (elevado contenido de fluidos y sustancias volátiles con fuerte concentración de Mg y otros elementos metálicos y temperaturas entre 200 y 500 °C, lo que condiciona una mayor estabilidad, en las condiciones de la superficie de la corteza terrestre, que la de la mayoría de los minerales preexistentes).

Dependiendo del grado de serpentización alcanzada, las rocas resultantes presentan facies con diferentes proporciones de minerales heredados, y secundarios, originados durante el proceso. Así, podemos encontrar asociaciones de olivino, espinela, pargasita, antigorita, crisotilo, lizardita y talco (la más frecuente en las peridotitas serpentinizadas de A Capelada); anfíboles, piroxenos, espinela, magnetita, cromita y talco; clorita, dolomita, óxidos de hierro, talco... etcétera.

Desde el punto de vista geoquímico las rocas peridotíticas fuertemente serpentini-

TABLA I. Composición química de rocas de áreas serpentinizadas de Galicia (%)

| Tipo de roca | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Autor | Localización |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------|
| Peridotitas | 44,3 | 3,3 | 8,7 | 40,8 | 2,3 | 0,1 | 0,00 | Maaskant, 1970 | Capelada |
| | 40,2 | 2,7 | 9,4 | 34,4 | 2,0 | 0,2 | 0,05 | " | " |
| | 41,8 | 4,1 | 7,7 | 34,9 | 3,0 | 0,1 | 0,00 | " | " |
| | 40,1 | 5,3 | 8,5 | 31,3 | 2,6 | 0,4 | 0,05 | " | " |
| | 39,8 | 1,4 | 9,5 | 36,1 | 1,9 | 0,2 | 0,70 | " | " |
| | 39,6 | 2,3 | 9,0 | 34,8 | 2,5 | 0,3 | 0,60 | " | " |
| | 39,9 | 3,1 | 7,6 | 35,7 | 0,8 | 0,05 | 0,05 | " | " |
| | 38,1 | 0,7 | 9,5 | 35,9 | 1,1 | 0,31 | 0,12 | Parga Pondal, 1967 | Verines |
| | 37,4 | 0,7 | 8,6 | 41,8 | 0,6 | 0,4 | 0,13 | " | Irixoa |
| | 44,8 | 5,1 | 9,5 | 37,0 | 3,2 | 0,27 | 0,60 | Maaskant, 1970 | Melide |
| | 42,0 | 3,1 | 9,8 | 35,1 | 2,5 | 0,3 | 0,00 | " | " |
| | 40,9 | 2,5 | 8,7 | 36,6 | 2,0 | 0,1 | 0,04 | " | " |
| | 39,9 | 1,1 | 8,5 | 36,0 | 0,1 | 0,02 | 0,00 | " | " |
| | 41,1 | 1,7 | 9,0 | 36,3 | 1,4 | 0,00 | 0,00 | " | " |
| | Vm | 40,7 | 2,6 | 8,8 | 36,1 | 1,8 | 0,20 | 0,14 | |
| Lherzolitas | 35,6 | 0,2 | 8,4 | 40,8 | 0,6 | <0,01 | <0,01 | Van Calsteren, 1978 | Capelada |
| | 36,7 | 0,4 | 10,0 | 38,8 | 2,5 | " | " | " | " |
| | 35,8 | 0,4 | 10,3 | 41,5 | 0,7 | " | " | " | " |
| | 36,3 | 0,4 | 11,7 | 37,5 | 1,3 | " | " | " | " |
| | 36,7 | 0,5 | 10,7 | 37,7 | 2,1 | " | " | " | " |
| | 36,4 | 0,7 | 11,1 | 38,4 | 0,9 | " | " | " | " |
| | 38,0 | 0,8 | 10,7 | 37,1 | 3,6 | " | " | " | " |
| | 36,4 | 0,9 | 10,4 | 38,1 | 1,2 | " | " | " | " |
| | 36,5 | 0,6 | 10,7 | 38,7 | 1,6 | " | " | " | " |
| | Vm | 36,5 | 0,5 | 10,4 | 38,7 | 1,6 | <0,01 | <0,01 | Van Calsteren, 1978 |
| Piroxenitas | 47,0 | 1,4 | 3,6 | 26,0 | 13,9 | 0,1 | 0,1 | " | " |
| | 43,1 | 1,2 | 6,6 | 28,4 | 11,4 | 0,1 | 0,00 | " | " |
| | 44,2 | 0,9 | 6,4 | 28,0 | 12,0 | 0,1 | 0,00 | " | " |
| | 44,2 | 1,7 | 6,4 | 26,0 | 12,4 | 0,1 | 0,00 | " | " |
| | 42,5 | 1,7 | 8,2 | 27,0 | 10,8 | 0,1 | 0,00 | " | " |
| | 45,0 | 1,8 | 6,5 | 26,8 | 12,3 | 0,2 | 0,00 | " | " |
| | 48,5 | 1,8 | 5,4 | 24,4 | 15,6 | 0,0 | 0,00 | " | " |
| Vm | 44,9 | 1,5 | 6,1 | 26,6 | 12,6 | 0,09 | 0,00 | | |
| Granatíferas | | | | | | | | | |
| Vm (9) | 41,9 | 13,4 | 7,3 | 22,3 | 8,2 | 0,7 | 0,1 | Maaskant, 1970 | Capelada |
| Anfibolitas | | | | | | | | | |
| Vm (18) | 47,2 | 14,4 | 10,4 | 8,2 | 10,9 | 2,6 | 0,23 | Maaskant, 1970 Van Calsteren, 1978 | Melide Capelada |

TABLA II. Composición química de productos de alteración y suelos formados sobre rocas serpentinizadas de Galicia (%)

| Material | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | Autor | Localidad | |
|---------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|-------------------|------------------|---------------------|---------------|---|
| Saprolita/ R. alterada | 37,2 | 0,37 | 11,6 | 37,8 | 0,09 | 0,01 | 0,02 | Buurman, 1985 | Capelada | |
| | 36,5 | 0,60 | 13,6 | 35,9 | 0,21 | 0,01 | 0,04 | " | " | |
| | 39,0 | 0,40 | 19,0 | 31,1 | 0,38 | 0,03 | 0,02 | " | " | |
| | 42,9 | 3,60 | 8,2 | 32,7 | 3,40 | 0,14 | 0,04 | " | " | |
| | 37,6 | 2,43 | 9,7 | 36,0 | 0,86 | 0,12 | 0,05 | " | " | |
| | 40,6 | 2,90 | 9,5 | 33,3 | 2,00 | 0,20 | 0,12 | " | " | |
| | 43,1 | 3,90 | 7,3 | 38,8 | 0,42 | 0,07 | 0,11 | García Paz, 1982 | Melide | |
| | 47,7 | 3,70 | 8,6 | 33,2 | 0,30 | 0,13 | 0,12 | " | " | |
| | 40,3 | 2,40 | 5,6 | 37,8 | 0,30 | 0,05 | 0,07 | " | " | |
| | 40,7 | 3,70 | 7,9 | 35,3 | 0,30 | 0,03 | 0,08 | " | " | |
| Vm | 40,6 | 2,40 | 10,1 | 35,2 | 0,83 | 0,08 | 0,07 | | | |
| Hor. C y B | 30,1 | 7,8 | 29,6 | 8,8 | 0,80 | 0,40 | 0,51 | Buurman, 1985 | Capelada | |
| | 39,4 | 4,4 | 21,1 | 17,0 | 3,50 | 0,30 | 0,40 | " | " | |
| | 31,6 | 11,6 | 21,9 | 14,6 | 1,12 | 0,08 | 0,13 | " | " | |
| | 33,2 | 11,5 | 21,1 | 15,5 | 0,80 | 0,03 | 0,09 | " | " | |
| | 10,4 | 5,9 | 53,3 | 3,5 | 0,03 | 0,04 | 0,09 | " | " | |
| | 36,5 | 11,0 | 19,3 | 14,9 | 0,90 | 0,07 | 0,07 | " | " | |
| | 32,6 | 10,9 | 24,7 | 13,8 | 5,14 | 0,73 | 0,30 | " | " | |
| | 30,3 | 10,5 | 28,3 | 10,6 | 3,90 | 0,56 | 0,27 | " | " | |
| | 32,9 | 11,6 | 23,9 | 13,1 | 4,55 | 0,86 | 0,21 | " | " | |
| | 38,8 | 5,9 | 13,5 | 23,8 | 1,35 | 0,23 | 0,22 | " | " | |
| Vm | 33,9 | 9,5 | 22,6 | 14,7 | 2,45 | 0,36 | 0,24 | | | |
| Hor. A (**) | 17,8 | 7,8 | 14,5 | 8,7 | 4,00 | 0,94 | 0,09 | Calvo y Tovar, 1986 | Melide | |
| | 17,9 | 13,3 | 12,9 | 9,2 | 3,67 | 1,46 | 0,09 | " | " | |
| | 18,4 | 11,9 | 7,7 | 5,6 | 9,62 | 1,60 | 0,03 | " | " | |
| | 18,6 | 12,1 | 7,3 | 6,3 | 11,90 | 1,80 | 0,00 | " | " | |
| | 17,5 | 9,6 | 9,2 | 9,6 | 7,50 | 1,41 | 0,06 | " | " | |
| | 19,6 | 6,4 | 11,8 | 7,5 | 6,50 | 1,53 | 0,09 | " | " | |
| | 20,1 | 6,2 | 9,3 | 10,0 | 4,02 | 1,58 | 0,03 | " | " | |
| | 23,9 | 6,3 | 8,8 | 5,6 | 4,37 | 1,53 | 0,09 | " | " | |
| | 19,8 | 11,2 | 6,7 | 9,0 | 13,65 | 1,06 | 0,03 | " | " | |
| | 19,2 | 12,6 | 7,3 | 7,5 | 9,62 | 1,55 | 0,06 | " | " | |
| | 14,1 | 7,5 | 25,2 | 10,0 | 3,67 | 0,54 | 0,09 | " | " | |
| | 13,2 | 5,5 | 23,6 | 3,5 | 9,62 | 0,34 | 0,09 | " | " | |
| | 13,9 | 6,8 | 22,5 | 12,9 | 4,55 | 0,35 | 0,06 | " | " | |
| | 14,9 | 6,9 | 23,6 | 9,0 | 4,90 | 0,39 | 0,09 | " | " | |
| | 17,6 | 10,5 | 11,1 | 5,4 | 3,32 | 0,72 | 0,87 | " | " | |
| | 14,1 | 5,0 | 22,4 | 9,0 | 6,12 | 0,55 | 0,12 | " | " | |
| 17,5 | 6,7 | 14,5 | 9,2 | 4,40 | 0,57 | 0,15 | " | " | | |
| 13,7 | 9,5 | 7,8 | 7,9 | 6,47 | 0,27 | 0,03 | " | " | | |
| 16,0 | 5,3 | 22,8 | 10,2 | 1,75 | 0,10 | 0,03 | " | " | | |
| Vm | 17,3 | 8,5 | 14,1 | 8,2 | 6,30 | 0,96 | 0,11 | | | |
| Arcillas (Hor. B y C) | 36,6 | 9,1 | 23,2 | 13,6 | 0,11 | 0,11 | 0,36 | Buurman, 1985 | Capelada | |
| | 45,8 | 8,5 | 16,3 | 16,0 | 1,16 | 0,13 | 0,54 | " | " | |
| | 37,0 | 10,8 | 23,8 | 12,4 | 0,09 | 0,00 | 0,11 | " | " | |
| | 38,8 | 10,3 | 22,6 | 11,6 | 0,16 | 0,02 | 0,11 | " | " | |
| | 16,1 | 5,8 | 56,1 | 2,7 | 0,07 | 0,01 | 0,10 | " | " | |
| | 42,5 | 8,8 | 20,8 | 8,7 | 0,07 | 0,02 | 0,09 | " | " | |
| | 13,3 | 6,4 | 51,3 | 2,3 | 0,14 | 0,06 | 0,38 | " | " | |
| | 24,8 | 7,4 | 43,1 | 2,7 | 0,07 | 0,03 | 0,12 | " | " | |
| | 25,5 | 6,1 | 43,7 | 1,6 | 0,07 | 0,03 | 0,14 | " | " | |
| | 26,5 | 11,0 | 31,8 | 7,0 | 0,10 | 0,05 | 0,17 | " | " | |
| | 45,3 | 6,8 | 11,5 | 18,8 | 0,16 | 0,00 | 0,37 | " | " | |
| | Vm | 32,0 | 8,3 | 31,3 | 8,8 | 0,20 | 0,04 | 0,23 | | |
| | Arcillas (Hor. A) | 44,7 | 11,9 | 16,5 | 10,3 | 0,57 | 0,21 | 0,61 | Buurman, 1985 | " |
| 41,9 | | 12,8 | 17,6 | 11,8 | 0,45 | 0,21 | 0,55 | " | " | |
| 41,9 | | 10,0 | 19,0 | 9,6 | 0,82 | 0,14 | 0,51 | " | " | |
| 41,0 | | 8,6 | 20,9 | 12,0 | 0,77 | 0,12 | 0,40 | " | " | |
| 39,5 | | 10,0 | 21,8 | 10,3 | 0,83 | 0,14 | 0,48 | " | " | |
| 34,4 | | 10,4 | 26,1 | 7,3 | 0,29 | 0,11 | 0,45 | " | " | |
| 29,0 | | 9,3 | 36,8 | 2,8 | 0,20 | 0,15 | 0,71 | " | " | |
| 44,8 | | 13,5 | 13,7 | 5,8 | 0,39 | 0,22 | 0,81 | " | " | |
| 36,7 | | 14,4 | 19,9 | 5,7 | 0,22 | 0,18 | 0,56 | " | " | |
| 34,1 | | 12,3 | 25,9 | 4,7 | 0,23 | 0,15 | 0,44 | " | " | |
| 19,7 | | 12,4 | 40,4 | 5,0 | 0,14 | 0,07 | 0,17 | " | " | |
| 44,4 | 8,9 | 16,6 | 10,7 | 0,20 | 0,14 | 0,52 | " | " | | |
| Vm | 37,7 | 11,2 | 22,9 | 8,0 | 0,43 | 0,15 | 0,52 | | | |

(*) Zona de enriquecimiento de Fe (no incluida en los valores medios)

(**) Los horizontes A presentan aportes de diferente naturaleza

zadas se caracterizan por unos elevados contenidos de MgO (más de un 30 %) y de Fe₂O (sobre un 10 %); bajos contenidos de SiO₂ y, sobre todo de Na₂O y K₂O, cuya suma casi nunca supera el 0,5 % del total y tiene un valor medio de 0,02 % (PARGA, 1966; MAASKANT, 1970; HUBREGTSE, 1973; VAN CALSTEREN, 1978). Las diferencias con otras rocas de Galicia se aprecian claramente en la Tabla I y en la (Fig. 1a) (MACIAS, et al., 1982).

b) *El medio de alteración*

Las rocas serpentinizadas de Galicia están asociadas a los complejos básicos que ro-

dean a los esquistos de Ordenes y al complejo de rocas metamorfizadas que forman parte de la unidad denominada Complejo Antiguo por PARGA PONDAL (1966). Esta distribución condiciona una cierta variabilidad climática, asociada al grado de continentalidad, dentro de las características generales templado-húmedas, de Galicia.

La precipitación es elevada, superior a los 1.300 mm anuales con una diferente distribución estacional de las condiciones de humedad ambiental, diferenciándose el complejo de La Capelada por una repartición más regular de las lluvias y una humedad relativa siempre superior al 80 %. La temperatura media anual es próxima a 11

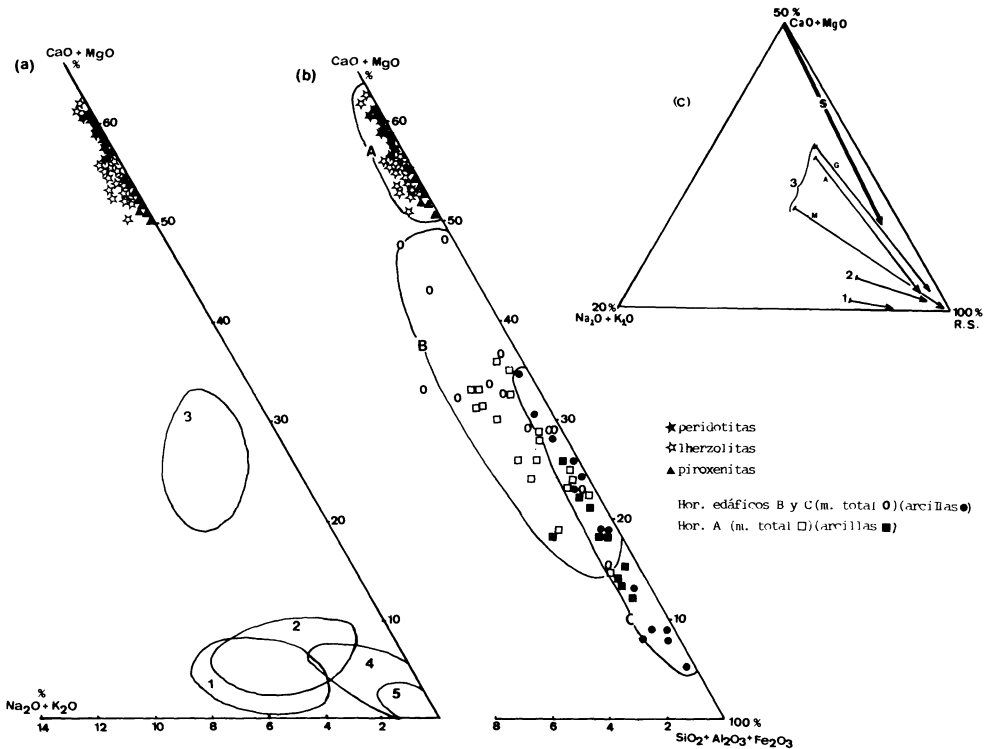


Fig. 1. a) Composición química de rocas serpentinizadas (peridotitas, lherzolitas y piroxenitas) con relación a otros materiales de Galicia (1-rocas graníticas; 2-esquistos; 3-rocas básicas; 4-sedimentos cuaternarios; 5-areniscas y cuarcitas).
 b) Evolución geoquímica durante la alteración de rocas serpentinizadas (A-roca fresca; B-Saprolitas y horizontes edáficos; C-arcillas).
 c) Comparación de la evolución geoquímica durante la alteración de diferentes rocas de Galicia (1-granitos; 2-esquistos; 3-rocas básicas: M-metabásicas; A-anfibolitas; G-gabros; S-serpentinitas).

°C, con un carácter más extremado en la zona interior (Melide).

El «clima» del medio de alteración presenta características específicas, fundamentalmente ligadas a las condiciones de drenaje, diferenciándose medios con drenaje libre y escaso tiempo de residencia, en zonas de ladera o sistemas fisurales, y zonas con drenaje moderado a bajo, en las áreas llanas o deprimidas. El tiempo de residencia condiciona variaciones en las características de pH, Eh, T°, fuerza iónica... existentes en el sistema de alteración.

Los medios bien drenados, relativamente pobres en materia orgánica, son sistemas con pH neutro a ligeramente alcalino (6,5-8), que puede alcanzar valores muy elevados en la zona de contacto con los minerales primarios no serpentínicos (pH de abrasión 10). Cuando hay abundancia de compuestos orgánicos y actividad biótica, decrece la capacidad de neutralización de ácidos, pudiendo traducirse este proceso en un descenso del pH, que en ningún caso alcanza valores inferiores a 4,5.

Las aguas de escorrentía existentes en estos sistemas presentan valores similares, con una importante variación estacional, encontrándose valores de pH entre 7,5 y 8,3 en aguas de arroyos y, entre 6,8 y 8,6, en la solución del suelo de los horizontes superficiales de Melide. Concentraciones locales de sulfuros pueden hacer decrecer estos valores, pero lo más frecuente es encontrarse en condiciones próximas a la neutralidad, con un pH más elevado que en sistemas similares de otros materiales originales. La concentración de iones en la solución y aguas de escorrentía es relativamente elevada, especialmente en Si y Mg (con valores entre 10^{-3} y 10^{-4} M) más elevados que los existentes en horizontes situados en igual posición, sobre otros tipos de rocas (CALVO *et al.*, 1987).

El potencial redox presenta valores superiores a 400-500 mvol, con un ligero descenso de los horizontes ricos en materia orgánica y en las saprolitas de estructura masiva. En los medios mal drenados el Eh llega a

descender hasta -100 mvol, en los horizontes minerales profundos, y entre 100 y 500 mvol (más frecuente 150-300 mvol) en las capas superficiales ricas en materia orgánica (GRAÑA, 1986).

c) *Evolución geoquímica durante la alteración*

Durante la alteración y formación de suelo, los materiales serpentínicos sufren una importante pérdida de Ca y Mg, aproximándose a un sistema residual rico en oxihidróxidos de Al, Si y Fe (CHESWORTH, 1973) (Fig. 1b). No obstante, esta evolución no es tan acusada como la observada en otros materiales de composición básica de Galicia, que presentan ya en una fase muy temprana de la alteración (roca alterada, saprolita) una evolución geoquímicamente mucho más avanzada y próxima al sistema residual, con pérdida casi total de bases (Fig. 1c). Esta situación se refleja más claramente a partir del establecimiento del índice de PARKER (1970), que considera exclusivamente el estatus de elementos básicos ($I_a = 100 (Ca/0,7 + Mg/0,9 + Na/0,35 + k/0,25)$, expresados en átomo-gramo) (Fig. 2a). El comportamiento del material serpentínico se diferencia claramente del observado tanto en gabros como en anfibolitas, rocas metabásicas y esquistos, aproximándose, por el contrario, al existente en rocas de composición granítica, aun cuando en este caso es el K el elemento de mayor movilidad como consecuencia de su localización en minerales relativamente estables (moscovita y feldespatos), mientras que en el caso de las rocas serpentínicas, los fuertes contenidos de Mg en minerales de la serpentina, talco y cloritas, mantiene elevado el índice de los horizontes edáficos e, incluso, en la fracción arcilla de los mismos.

Con relación a otros ambientes climáticos, la variación del índice de PARKER pone en evidencia un fuerte contraste entre el medio templado-húmedo de Galicia, el ambiente mediterráneo, mucho menos sus-

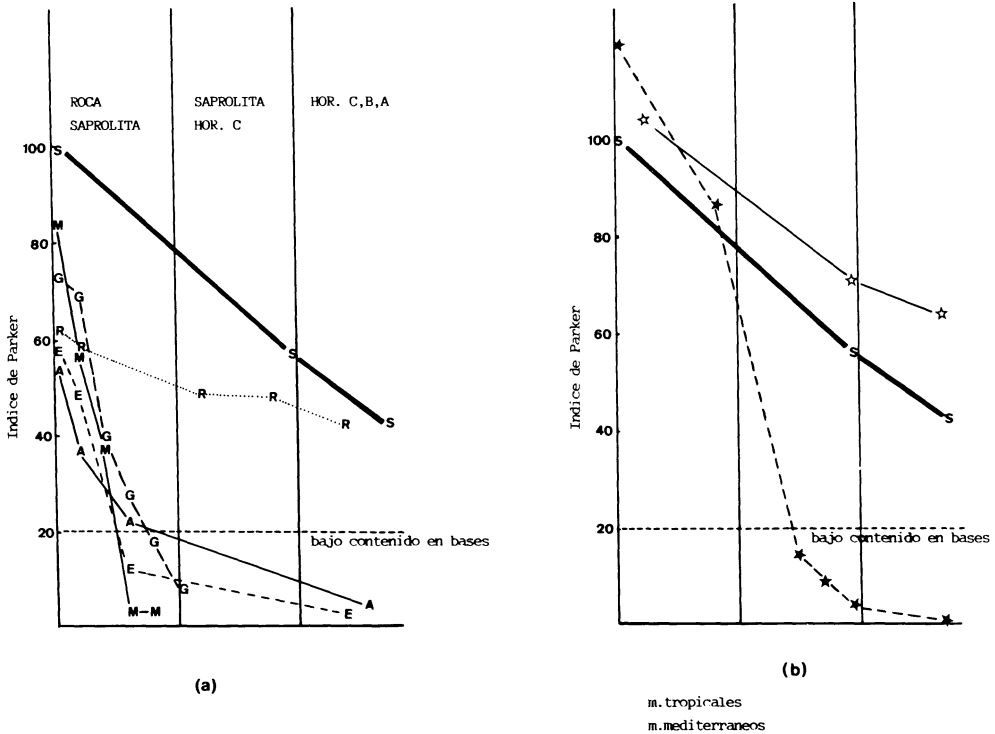


Fig. 2. a) Variación del índice de Parker en la alteración de rocas serpentínicas (S) en comparación con la de otras rocas (R-granitos; G-gabros; M-metabásicas; A-anfibolitas; E-esquistos).
 b) Idem en comparación con rocas serpentinizadas en medios tropicales y de tipo mediterráneo.

tractivo, y el ambiente tropical, en donde se alcanza un punto final semejante al obtenido en gabros, anfibolitas y esquistos de Galicia (Fig. 2b). Estos resultados pueden explicarse, bien porque las serpentinitas requieren unas condiciones de agresividad (o tiempo de alteración) mayores que otros materiales, para alcanzar el mismo grado, bien porque los horizontes muestreados presentan un cierto rejuvenecimiento como consecuencia de los ciclos de erosión-acumulación que afectan de forma particular a los paisajes serpentínicos. En cualquier caso debe señalarse que tanto en el medio tropical como en el de Galicia, la profundidad que alcanza el frente de alteración y de edafogénesis es muy inferior al observado en rocas básicas, en las mismas condiciones.

Considerando aisladamente la proporción relativa de Fe, Si y Al se puede completar más la interpretación del proceso de alteración (Fig. 3a). Según esto, el silicio se comporta como un elemento de fuerte movilidad relativa, diferenciándose una fase con proporción Fe/Al aproximadamente constante y otra, más avanzada, que se aproxima al polo Fe, comportamiento netamente diferente del observado en arcillas de suelos sobre otros materiales de Galicia (Fig. 3b) (MACIAS, 1986).

Una síntesis de la movilidad relativa de los elementos mayoritarios ha sido realizada en base a un balance iso-Fe, tomando los datos medios de cada uno de los tipos de materiales (Fig. 4), observándose que el Ca es el elemento de mayor movilidad inicial y

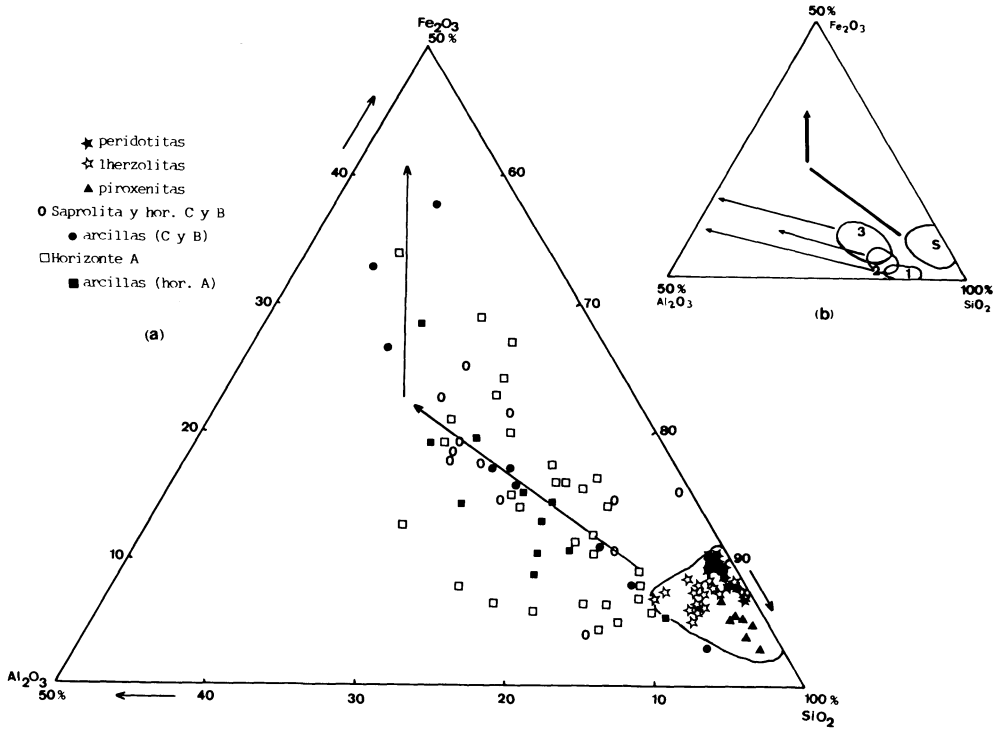


Fig. 3. Diagrama SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃. a) Evolución desde el estado de roca fresca a fracciones arcilla de horizontes edáficos.
 b) Evolución en comparación con otros materiales de Galicia (L-Granitos; 2-esquistos; 3-r. metabásicas).

que las pérdidas globales en los horizontes subsuperficiales siguen el orden Mg > Si, Ca > Na ≧ Fe ≧ Al. Finalmente, en la fracción arcilla de los horizontes minerales se observa una mayor acumulación de Fe, tal y como hemos comentado.

PROCESOS DE FORMACIÓN DE ARCILLAS

La fracción arcilla existente en las saprolitas y horizontes edáficos está constituida por un importante porcentaje de minerales originados durante la serpentización (antigorita, crisotilo, clorita en intergrados clorita-vermiculita) acompañados de oxi-

-hidróxidos de Fe y esmectitas, estas últimas fundamentalmente en medios hidromorfos, identificándose en ocasiones pequeñas cantidades de filosilicatos 1:1 de muy baja cristalinidad y talco.

Se trata de una asociación con predominio de minerales heredados, más o menos degradados según la acidez del medio, sobre los neoformados, poniéndose de manifiesto la gran dificultad de formación de silicatos arcillosos secundarios en un medio pobre en aluminio.

El estudio de las tendencias termodinámicas elaborado a partir de la composición de la solución del suelo (CALVO *et al.*, 1987) y aguas de escorrentía (MACIAS y GUITIAN, 1982) indica que se trata de medios que se encuentran en condiciones de

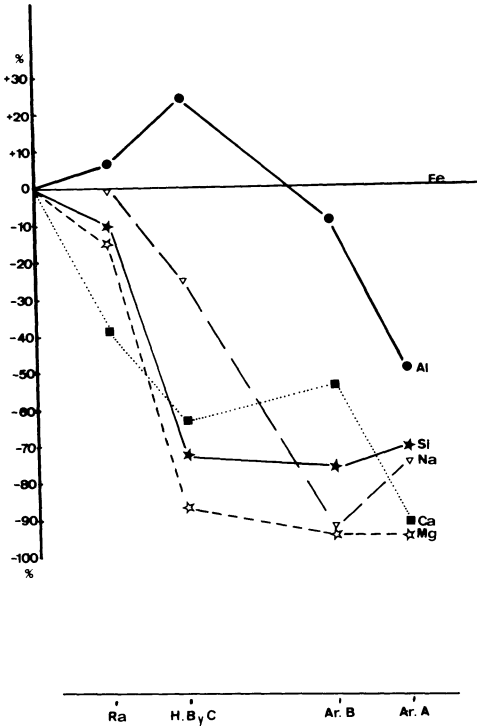


Fig. 4. Balance iso-Fe durante la alteración de materiales serpentínicos (valores medios).

estabilidad próximas a los equilibrios entre filosilicatos 1:1 y 2:1, desplazándose en uno u otro sentido según las condiciones de drenaje y acidez del medio. Los medios de pH ácido, con buen drenaje, presentan una solución en equilibrio con los minerales de tipo caolinita, pero a medida que se ralentiza el drenaje se pasa a la zona de formación de esmectitas y, cuando el pH y la (Mg^{+2}) son elevados, son las cloritas e incluso el talco los minerales de mayor estabilidad termodinámica. Esto indica que el talco puede formarse en medios superficiales, pero únicamente en las fases iniciales de la alteración, en sistemas con pH próximo al de abrasión (8-10) y altas concentraciones de Mg y Si, aspecto este último que se alcanza con frecuencia en las soluciones del suelo, tal y como hemos comentado. A actividades de H_4SiO_4 del orden de 10^{-4} M el talco es estable

si $\log(Mg^{+2}) + 2pH > 12$ y $\log(Al^{+3}) + 3pH$ está entre 4 y 12 (Fig. 5).

La formación de filosilicatos 1:1, aun cuando termodinamicamente sea posible, está inhibida por la baja concentración de Al, tal como se desprende de los análisis químicos de la fracción arcilla, con relaciones SiO_2/Al_2O_3 entre 4,5 y 8, es decir supe-

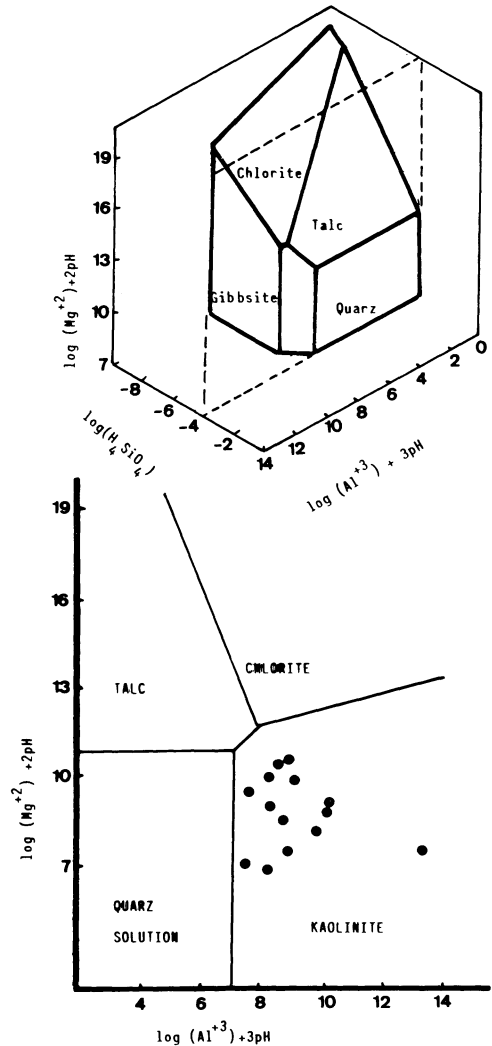


Fig. 5. Estabilidad mineral a partir de datos de solución de suelos en áreas serpentinizadas (se utiliza el diagrama de Bowers et al., 1984) y sección correspondiente a $\log(H_4SiO_4) = -4,0$.

riores incluso a la relación propia de los filosilicatos 2:1. Esto explica el hecho frecuentemente observado en las áreas serpentínicas de la existencia de una precipitación del exceso de sílice en forma de ópalo, calcedonia o cuarzo.

En resumen, dejando aparte la formación de esmectitas en medios mal drenados, los únicos productos de neoformación en etapas avanzadas de la alteración son oxihidróxidos de Fe y sílice, dando en el equilibrio final una asociación típica del proceso denominado «ferruginización», característico de las alteraciones de rocas ultrabásicas en áreas tropicales y húmedas (TRECASSES, 1975). Resultados similares han sido

encontrados por CLEAVES (1975) en alteraciones de serpentinitas bajo clima templado-húmedo de Maryland (USA). Por tanto, las serpentinitas de Galicia tienden hacia la misma composición final que se considera representativa de la fase residual de los sistemas abiertos, pero se encuentran en fase de menor evolución; por otra parte, el proceso de alteración y neoformación de arcillas tiene una cinética más lenta que la existente sobre otras rocas, tanto de composición básica como ácida, en las mismas condiciones.

Recibido, 18-III-87

Aceptado, 20-IV-87

BIBLIOGRAFIA

- BOWERS, T.; JACKSON, K. y HELGESON, H. (1984). Equilibrium Activity Diagrams. Springer-Verlag. Berlin.
- BUURMAN, P. (1982). Weathering and soil formation on mafic and ultramafic rocks in N Galicia, Spain. Agricultural University: Dpto. of Soil Science and Geology; Wageningen.
- CALVO, R. *et al.* (1987). Solución del suelo y estabilidad mineralógica en medios sobre rocas básicas y ultrabásicas de Galicia. *An. Edaf.* (en prensa).
- CHESWORTH, W. (1973). The parent rock in the genesis of soils. *Geoderma*, 10, 215-225.
- CLEAVES, E. T. (1983). Chemical weathering in a humid temperate environment. *Sciences Geologiques*, n.º 71, vol. II, 47-56.
- GRAÑA, J. (1986). Tesis. Univ. Santiago de Compostela (en preparación).
- HOYOS, A., GONZALEZ PARRA J. (1971). Estudio genético de un suelo sobre peridotitas en la S.º de Aguas. *An. Edaf.* 30, 869-88.
- HUBREGTSE, J. J. M. W. (1973). Petrology of the Mellid (Melide) area. A Precambrian polymetamorphic rock complex, Galicia, NW Spain. *Leid. Geol. Meded.* 49, 9-31.
- MAASKANT, P. (1970). Chemical petrology of polymetamorphic ultramafic rocks from Galicia, NW Spain. *Leid. Geol. Meded.* 45, 237-325.
- MACIAS, F. *et al.* (1982). El material original: Su formación e influencia en las propiedades de los suelos de Galicia. *An. Edaf.* 41, 1747-1768.
- MACIAS, F. (1986). Materiais orixinais e solos de Galiza. In *O Medio Natural Galego*. Cuad. Seminario de Sargadelos, 47, 47-79.
- PARGA PONDAL, I. (1966). Datos geológicos y petrográficos de la Provincia de La Coruña. *Excma. Dip. Prov. La Coruña*.
- PARKER, I. (1970). An index of weathering for silicate rocks. *Geological Magazine*, 107, 501-504.
- TRECASSES, J. J. (1975). L'évolution géochimique supérgene des roches ultrabásiques en zone tropicale. Formation des gisements nickeliféres de Nouvelle-Caledonie. *Mem. ORSTOM*, 78.
- VAN CASLTEREN, P. W. C. (1978). Geochemistry of the polymetamorphic mafic-ultramafic complex at Cabo Ortegal (NW Spain). *Lithos*, 11, 61-72.