



## Datos para la recuperación de suelos de minas de Galicia: capacidad natural y alternativas de mejora

## Data for mine soils reclamation at Galicia: natural capacity and choices for amelioration

QUINTAS, Y.; MACIAS, F.

Se estudian las principales limitaciones para la recuperación de los suelos de explotaciones mineras de la provincia de La Coruña. A pesar de que hay una gran heterogeneidad, especialmente en aspectos como textura, pedregosidad y/o rocosidad, puede señalarse que las mayores dificultades para la revegetación derivan de la pobreza en materia orgánica y de la baja fertilidad actual y potencial, manifestada en la escasez de P, N y de reservas minerales. Los procesos de toxicidad relativamente escasos, están relacionados con ambientes extremadamente ácidos en los que pueden encontrarse altos niveles de Al en el complejo de cambio y metales pesados en formas solubles.

La pedregosidad es un limitante importante en algunas escombreras de dunitas, anfíbolitas y esquistos ricos en cuarzo. Parece aconsejable la implantación de especies pioneras, frugales y tolerantes y, si es posible, con intervención de leguminosas. El aporte de residuos o subproductos ricos en materia orgánica tales como: lodos de depuradoras o industrias de la alimentación, compost de residuos sólidos urbanos, subproductos de industrias de la madera... o de materiales que deben ser removidos (lodos fluviales o de estuario, desmontes...) son favorables siempre y cuando tengan una composición complementaria con la de los escombros o materiales de mina a recuperar.

**Palabras clave:** suelos de mina, recuperación, revegetación, limitante, cantera, escombrera.

Mine soils at La Coruña (NW Spain) are studied in order to know their main limitations for reclamation. In spite of their heterogeneity (texture, stoniness) the main limitations for revegetation are: low levels of organic matter and low fertility, current (small amounts of P and N) and potential (small) pool of weatherable (minerals). The relatively rare toxicity processes are related to very acidic environments, where high levels of exchangeable aluminium and heavy metals can occur. Stoniness is limitant in some dunites, amphibolites and quartz-schist spoils.

It seems to be advisable a revegetation with pioneers, frugal and tolerant species, and, if possible, including leguminous. Treatments with organic amendments: municipal sewage sludge, compost, paper mill wastes, sawdust, or materials manipulated by man (river and estuary sludges, moved earthy materials) is favourable if their composition is complementary with the mine spoil.

**Key words:** mine soils, reclamation, revegetation, limitant, quarry, minespoil.

QUINTAS, Y.; MACIAS, F (Dpto. Edafología y Química Agrícola. Fac. Biología Univ. de Santiago de Compostela).

## INTRODUCCION

En los últimos años, la necesidad de restauración de los espacios afectados por la minería ha sido ampliamente reconocida en nuestra sociedad, elaborándose varias leyes y normativas por las distintas administraciones.

Se trata, por una parte, de corregir los impactos paisajísticos, hidrológicos, y la destrucción del suelo y de la vegetación, ocasionados durante la explotación; pero también, y como objetivo a más largo plazo, de rehabilitar el espacio afectado para su nueva reutilización, siendo los usos recreativos, forestal, de conservación, o como hábitat de vida silvestre algunos de los más aconsejados. En consecuencia, es preferible utilizar el término de «recuperación» o «rehabilitación» en lugar del de «restauración», cuyo significado correcto sería el de devolver el espacio afectado al uso previo a la actividad minera (BROWN, *et al.*, 1986).

El elevado número de explotaciones mineras existentes en Galicia (un total de 1031 superficies afectadas; ITGE, 1988 en su mayoría canteras), su dispersión geográfica y la variedad de materiales geológicos provoca impactos variados y plantea situaciones diversas para su recuperación. El objetivo de este trabajo es caracterizar, desde el punto de vista físico-químico, las escombreras de un número representativo de canteras y minas de la provincia de La Coruña, eligiéndose esta provincia porque en ella se encuen-

tran representados la casi totalidad de los materiales explotados en la región (Granitos, Neises, Anfibolitas, Cuarzo, Serpentinitas, Dunitas, Caolines, Esquistos, Gabros, Arcillas, Lignito, Pizarras y otros).

## MATERIAL Y METODOS

Se ha realizado un muestreo de los diferentes tipos de materiales superficiales de 12 explotaciones mineras de la provincia de La Coruña sobre Esquistos, Granitos, Anfibolitas granatíferas (ricas en sulfuros), Dunitas, Serpentinitas, Gabros y Granitos caolinizados. La localización y características generales se encuentra en la Tabla I. En cada explotación se recogen los principales tipos de materiales atendiendo a diferencias observables como: color, textura, contenido en gravas, presencia o ausencia de vegetación, etc...

En la muestra total se determina el contenido en gravas como porcentaje en peso. En la fracción < 2 mm se realizan determinaciones de: *Textura*, mediante análisis granulométrico según el método internacional; *pH en agua y en CLK 0.1M*, con relaciones suelos: solución de 1: 2.5, (GUITIAN y CARBALLAS, 1975); *pH de abrasión* (GRANT, 1969); % C y N en autoanalizador; *P asimilable* (OLSEN, 1954); *Capacidad de intercambio catiónico efectiva por suma de cationes (Ca, Mg, Na, K, Al)*, obtenidos *espectrofotometría por desplaza-*

TABLA I. Localización y características generales de las explotaciones mineras estudiadas.

Municipio	Coordenadas U.T.M.	Material geológico	Características de la explotación
Ortigueira	X=586.650 Y=4839.250	Dunita	cantera de áridos activa. Taludes de roca. Escombreras de roca y tierra. Balsas de decantación de finos.
Sobrado	X=586.000 Y=4765.100	Serpentinita	cantera de áridos activa.
Carballo	X=522.650 Y=4791.500	Granito	antigua mina de wolframio reutilizada para la extracción de áridos. Escombreras con vegetación espontánea ( <i>Ulex</i> sp; <i>Pinus pinaster</i> , <i>ericáceas</i> ).
Ordenes	X=550.280 Y=4776.480	Esquisto	cantera de áridos activa.
Santiago	X=538.000 Y=479.900	Esquisto	cantera de áridos activa.
Carballo	X=526.780 Y=4783.200	Quarzoesquisto	cantera de áridos activa. Escombrera con materiales finos y abundantes gravas. 2 balsas de decantación. Escombrera más antigua recuperada con <i>Acacia</i> sp. y gramíneas.
Laxe	X=500.350 Y=4780.180	Granito	antigua mina de caolín abandonada. Escombrera de finos cubierta por vegetación espontánea ( <i>Cytisus scoparius</i> ). Escombrera recuperada con <i>Eucaliptus globulus</i> .
Vimianzo	X=496.620 Y=4767.420	Granito	mina de caolín activa.
Coristanco	X=515.500 Y=4773.475 X=514.950 Y=4775.675	Granito	antiguas minas de caolín abandonadas.
Santiago	X=541.950 Y=4744.600	Anfibolita (rica en sulfuros)	antigua mina de cobre abandonada. Material de taludes y escombrera fuertemente alterados debido a la acidificación provocada por la oxidación de sulfuros. Impacto ácido en aguas de escorrentía (pH=3.3, CE=1198 us).
Arteixo	X=533.780 Y=4791.900	Gabro	cantera de áridos activa.

miento con una solución de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1M (PEECH, *et al.*, 1947) determinando Ca, Mg y Al por espectrofotometría de absorción atómica y Na y K por emisión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Limitantes de tipo físico

Las principales limitaciones físicas se relacionan con la ausencia o escasez de una estructura porosa, el exceso de gravas y la facilidad para la formación de superficies compactadas o incluso cementadas. Aunque la mayoría de las texturas encontradas son francas a franco-arenosas (Fig. 1), la ausen-

cia de materia orgánica impide el desarrollo adecuado de los procesos de formación de agregados, con lo que la mayoría de los materiales tienen una baja porosidad y una escasa retención de agua. En algunos casos, especialmente en explotaciones de materiales arcillosos o en las zonas utilizadas como balsas de decantación de finos, se encuentran texturas francolimosas a arcillosas en las que a las limitaciones anteriores debe añadirse la escasa velocidad de infiltración del agua.

Los altos contenidos de gravas, (38 % en escombreras de caolines a > 72 % en explotaciones de dunitas, anfibolitas, cuarzo, Tabla III), además de su nula aportación a la capacidad de retención de agua e incluso a

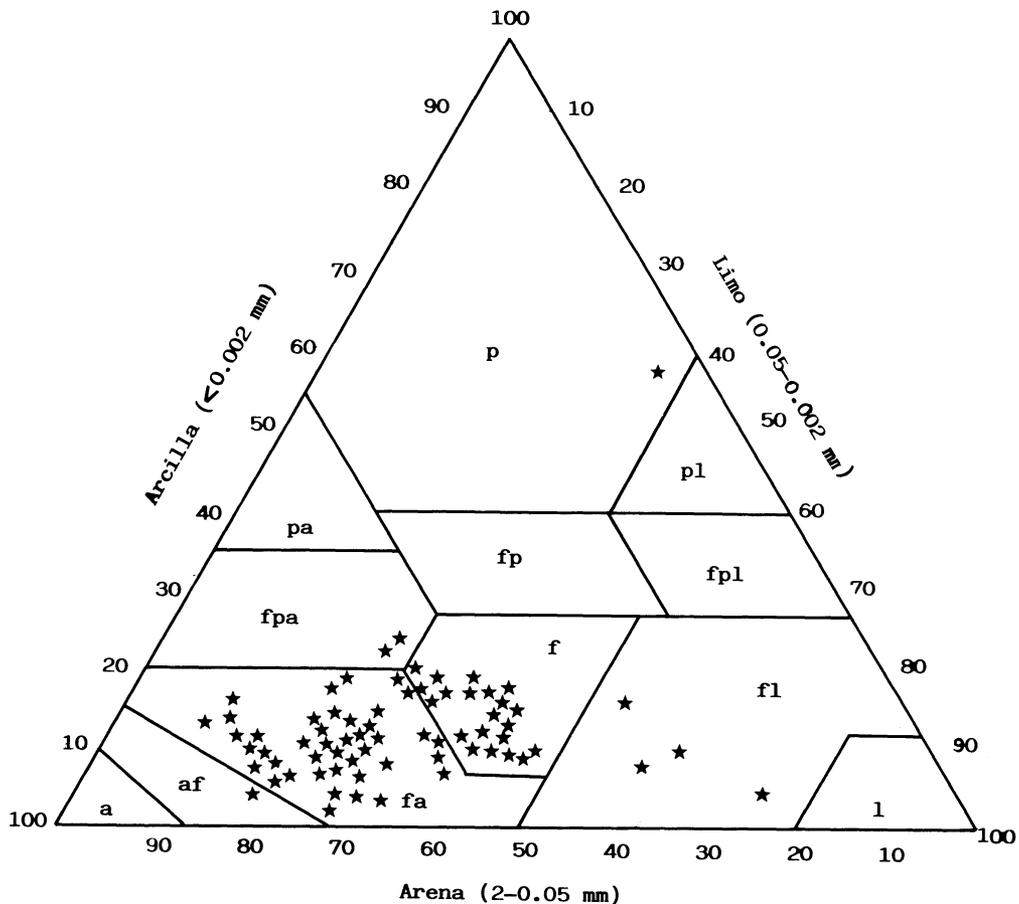


Fig. 1. Diagrama de texturas. fpa = franco arcillo arenosa; f = franca; fa = franco arenosa; fl = franco limosa; af = arenoso franca.

TABLA II. Contenido en gravas.

Tipo de material geológico de la explotación	Contenido en GRAVAS (% en peso)
DUNITAS	72.19
CUARZOESQUISTOS	53.33
GRANITO	41.36
GABROS	46.92
ESQUISTOS	50.66
GRANITO CAOLINIZADO	38.43

la fertilidad de la zona, pueden plantear importantes problemas para las labores de recuperación; sin embargo, también pueden ser un factor favorable para la necesaria aireación y permeabilidad.

La compactación, y en ocasiones cementación, de las capas superficiales es un proceso frecuente en materiales ricos en Fe fácilmente movilizable (sulfuros) y en las zonas afectadas por el paso de maquinaria pesada.

### Limitantes de tipo químico

Comparando los datos de los suelos de mina con los de la provincia sobre materiales geológicos similares debe destacarse, en primer lugar, el bajo contenido de C, con un valor medio para las muestras de escombreras vegetadas del 1.4% C (0.52% en ausencia de vegetación) frente a cifras superiores al 4%, frecuentes en la mayoría de los suelos (Tabla III). Este hecho debe ejercer un papel muy importante tanto en la ausencia de estructura como en la falta o escasez de otros efectos positivos de la materia orgánica como la disminución de la toxicidad por aluminio, el papel como reservorio de nutrientes, la alta capacidad tampón frente a los cambios del medio en pH, Eh, T.<sup>a</sup>, etc. La pobreza de materia orgánica condiciona además la presencia de bajos niveles de formas asimilables de nutrientes fundamentales como el N y el P. Ambos, muy escasos y fuertemente limitantes en todas las explotaciones estudiadas. El 20% de las muestras tienen contenidos de N por debajo del límite de detección del método empleado; para el resto, los contenidos oscilan entre el 0.01 y 0.19%, y la media para todas las muestras analizadas es del 0.041% (Tabla III).

El nitrógeno suele ser el principal limitante en la recuperación de suelos de mina (DAVISON, *et al.*, 1966; FITTER, *et al.*, 1974; HANDLEY, *et al.*, 1978; BRADSHAW, *et al.*, 1980...). Como consecuencia de la actividad minera, es alterado el flujo del nitrógeno a través del ecosistema suelo-

planta-microorganismo, y, normalmente, serán necesarios períodos variables de tiempo, a menudo del orden de cientos de años, para que se acumule nitrógeno de forma natural. Frente a la fertilización continuada y en dosis elevadas (50-200 Kg/Ha/año; JEFFERIES, *et al.*, 1981), la implantación de especies fijadoras de nitrógeno parece constituir un modo más eficiente de acumular N en suelos de mina; así se han estimado tasas de fijación considerables para diferentes especies de leguminosas (27 kg/Ha/año para *Ulex europaeus*; 49 kg/Ha/año para *Trifolium repens* y 72 kg/Ha/año para *Lupinus arboreus*; SKEFFINGTON, *et al.*, 1980). Para las variedades comerciales de leguminosas, las necesidades de fertilización son altas (JEFFERIES, 1980) y su crecimiento está limitado por la acidez, los bajos niveles de P, Ca y la escasa disponibilidad de agua de los suelos de mina. Una opción más económica es la utilización de especies tolerantes: *Coronilla varia*, *Lotus corniculatus*, *Lupinus perennis*; o incluso especies espontáneas: *Ulex europaeus*, *Cytisus scoparius*, que persisten bajo condiciones de extrema infertilidad (JEFFERIES, *et al.*, 1981). Otras especies utilizadas y que no necesitan fertilización son: *Robinia pseudoacacia* y *Alnus glutinosa* (GRANDT, 1978).

El fósforo es también deficiente en la mayoría de las muestras con valores muy bajos (< 3 mg Kg<sup>-1</sup>) y bajos (< 7 mg Kg<sup>-1</sup>). Sólo un 8.8% de las muestras presentan contenidos medios (7-20 mg Kg<sup>-1</sup>). En cuanto a diferencias por materiales, destacan las escombreras de dunitas y serpentinitas por ser especialmente deficitarias, con valores medios de 1.6 mg Kg<sup>-1</sup> para dunitas y 0.83 mg Kg<sup>-1</sup> para serpentinitas. En el otro extremo se encuentran las escombreras de esquistos de Ordenes con un contenido medio de 11.45 mg Kg<sup>-1</sup> (Fig. 2). El fósforo puede ser nutriente limitante debido a la fijación en formas no asimilables, como compuestos de hierro y aluminio, especialmente en suelos de mina ácidos. De ahí que la aplicación de P como fertilizante no siem-

TABLA III. Algunos parámetros químicos de las escombreras estudiadas.

D= Dunita; S= Serpentinita; Gr= Granito; E.Or= Esquisto de Ordenes; E= Esquisto;  
 QE= Quarzoeskisto; Gr.c. = Granito caolinizado; Anf= Anfibolita; Ga= Gabro.

MATERIAL	pH abrasión	%C	%N	CEC	S ----cmol(+)	Al kg <sup>-1</sup> ----
D	9.0	0.31	0.02	15.96	15.96	0.00
D	8.5	0.34	0.00	25.21	24.99	0.22
D	8.1	0.57	0.01	24.22	23.90	0.32
D	9.1	0.34	0.02	18.08	18.03	0.05
D	8.6	0.60	0.00	27.77	27.77	0.00
S	9.3	0.47	0.00	22.51	22.51	0.00
S	8.6	0.55	0.00	20.05	20.05	0.00
S	9.5	0.82	0.01	15.75	15.75	0.00
S	9.0	0.40	0.00	15.52	15.32	0.20
S	9.4	0.57	0.00	25.73	24.45	1.28
S	9.4	0.89	0.02	16.76	16.76	0.00
S	9.2	0.43	0.01	22.67	22.67	0.00
S	9.5	0.42	0.01	19.35	19.35	0.00
Gr	5.5	0.75	0.03	2.37	1.26	1.11
Gr	5.6	0.49	0.02	2.82	0.98	1.84
Gr	5.0	1.57	0.07	3.97	2.00	1.97
Gr	5.1	1.47	0.07	2.26	0.49	1.77
Gr	5.0	1.12	0.05	1.64	0.29	1.35
Gr	5.0	0.17	0.05	2.41	0.22	2.19
Gr	5.3	1.08	0.06	2.24	0.89	1.35
Gr	4.7	0.80	0.01	1.97	0.25	1.72
Gr	5.1	1.32	0.05	2.71	0.50	2.21
Gr	5.1	0.24	0.02	2.45	0.66	1.79
Gr	4.9	0.57	0.03	2.99	1.32	1.67
Gr	5.0	0.32	0.03	1.41	0.45	0.96
Gr	5.2	1.13	0.09	1.50	0.47	1.03
Gr	5.1	0.36	0.03	3.71	1.20	2.51
Gr	5.4	0.64	0.05	3.36	1.07	2.29
E.Or	5.7	2.93	0.17	4.20	2.50	1.70
E.Or	5.4	0.29	0.00	1.20	0.29	0.91
E.Or	8.2	0.67	0.05	-	-	-
E.Or	7.7	3.15	0.19	23.23	22.84	0.39
E.Or	5.5	1.82	0.13	3.87	1.68	2.19
E	6.4	1.28	0.09	3.82	3.50	0.32
E	5.0	1.97	0.12	5.64	0.75	4.89
E	4.9	2.00	0.12	4.53	0.42	4.11
E	5.6	0.31	0.02	1.98	0.63	1.35

TABLA III. (Cont.).

MATERIAL	pH abrasión	%C	%N	CEC	S -----cmol(+) kg <sup>-1</sup> -----	Al
QE	4.1	0.19	0.02	2.08	0.85	1.23
QE	4.3	0.42	0.05	5.17	0.20	4.97
QE	5.3	3.05	0.18	4.26	1.33	2.93
QE	4.7	0.28	0.03	3.37	0.39	2.98
QE	4.9	3.30	0.19	3.25	0.74	2.51
QE	3.7	0.20	0.00	1.71	0.16	1.55
QE	4.8	0.32	0.01	1.64	0.26	1.38
Gr.c	5.0	0.18	0.00	2.45	1.22	1.23
Gr.c	5.4	0.17	0.01	2.12	1.01	1.11
Gr.c	5.0	0.30	0.01	2.36	1.23	1.13
Gr.c	5.4	0.31	0.05	2.36	1.40	0.96
Gr.c	5.2	0.37	0.01	2.05	1.07	0.98
Gr.c	4.9	0.22	0.00	2.34	1.48	0.86
Gr.c	5.1	0.12	0.04	1.86	1.32	0.54
Gr.c	5.0	0.27	0.03	2.62	1.17	1.45
Gr.c	5.0	0.76	0.00	2.33	1.30	1.03
Gr.c	5.7	0.08	0.03	0.95	0.58	0.37
Gr.c	6.4	0.26	0.01	0.97	0.60	0.37
Gr.c	5.6	-	-	1.69	0.83	0.86
Gr.c	5.9	-	-	1.15	0.46	0.69
Gr.c	5.8	-	-	2.75	1.23	1.52
Gr.c	5.0	-	-	1.87	0.40	1.47
Gr.c	4.8	-	-	1.93	0.63	1.30
Gr.c	5.4	-	-	2.57	0.80	1.77
Gr.c	5.1	-	-	2.68	0.42	2.26
Gr.c	5.2	-	-	1.92	0.69	1.23
Gr.c	5.1	-	-	1.80	0.42	1.38
Gr.c	5.0	-	-	2.70	0.73	1.97
Gr.c	5.4	-	-	2.43	0.83	1.60
Gr.c	5.2	-	-	2.54	0.57	1.97
Gr.c	5.4	-	-	2.21	0.69	1.52
Gr.c	5.0	-	-	1.83	0.36	1.47
Gr.c	5.3	1.85	0.08	11.54	11.15	0.39
Anf	4.5	0.22	0.05	4.40	1.28	3.12
Anf	4.6	0.25	0.02	4.52	1.03	3.49
Anf	4.3	0.71	0.02	5.31	1.30	4.01
Ga	5.3	2.62	0.15	1.83	1.12	0.71
Ga	7.6	0.26	0.00	7.37	6.85	0.52
Ga	8.7	0.50	0.01	16.94	16.57	0.37
Ga	6.0	1.60	0.05	4.19	3.55	0.64
Ga	6.6	0.46	0.01	18.10	17.95	0.15
Ga	5.8	0.13	0.00	5.61	4.36	1.25

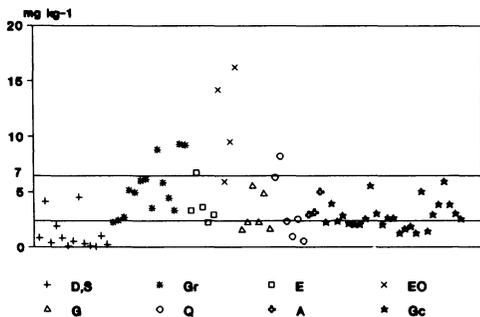


Fig. 2. Fósforo asimilable.

pre sea efectiva (tasas de fertilización de 780 Kg/Ha/año no produjeron un incremento significativo del fósforo asimilable en suelos de mina recuperados; DEMCHACK, *et al.*, 1983). Por ello es importante crear un reservorio de fósforo orgánico, mediante la aplicación de abonos orgánicos y la implantación de una cubierta vegetal que recide el P en formas más asimilables.

La fertilidad potencial es un factor a tener en cuenta para la estrategia de gestión de las áreas recuperadas y la elección de las alternativas de uso más adecuadas. Un criterio para evaluar la reserva de nutrientes, y por tanto, la fertilidad potencial de los suelos es el pH de abrasión (FERRARI y MAGALDI, 1983; ROMERO *et al.*, 1987). En los suelos de mina estudiados el pH de abrasión es prácticamente igual al pH en agua, (Tabla III). Esto indica que durante el proceso de alteración no cabe esperar una liberación importante de cationes que pueda significar un incremento sustancial de la fertilidad, por lo que la mejora de estas áreas tendrá que venir fundamentalmente a través de aportaciones externas.

En cuanto a las relaciones acido-base, se ha comprobado que existe una clara relación entre el pH en agua y la naturaleza del material geológico (Fig. 3). Las muestras de áreas con materiales ígneos o metamórficos ricos en cuarzo (granito, cuarzoesquistos...) y las que llevan sulfuros (algunas anfibolitas, pizarras...) presentan valores en torno a 5, destacándose por su carácter especialmente ácido las anfibolitas granatíferas

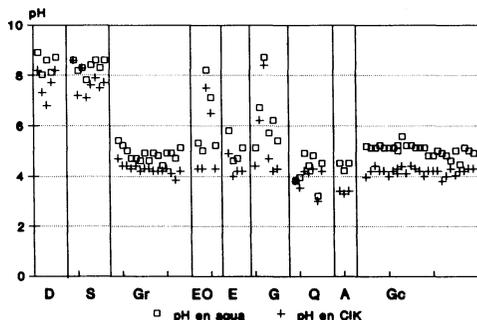


Fig. 3. pH en agua y en CIK para escombreras sobre diferentes materiales geológicos.

(4.5-4.2) y los cuarzoesquistos (3.2-3.8). Las escombreras de rocas de composición básica (gabros, esquistos...) presentan pH entre 4.6 y 8.7 y las de composición ultrabásica (serpentinitas y dunitas) tienen pH alcalino (>8).

La cantidad de aluminio presente en el complejo de cambio viene determinada por el pH y el tipo de material geológico de la escombrera, existiendo lógicamente, una correlación significativa ( $r=0.66$ ) entre el porcentaje de aluminio cambiante y el pH. Lógicamente, los mayores grados de saturación de Al (>90%) corresponden a muestras con pH menor que 4 (cuarzoesquistos, Fig. 4). Cuando el pH está en el intervalo

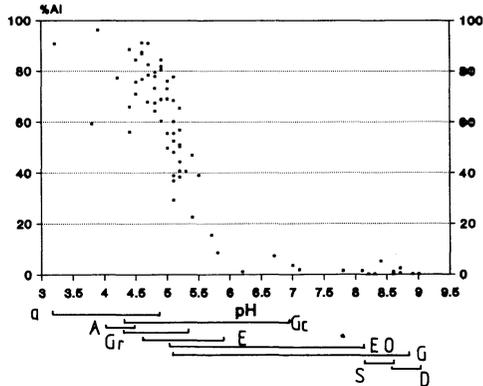


Fig. 4. Saturación en Al del complejo de cambio.

Legenda común para las tres gráficas: D= Dunita; S= Serpentinita; Gr= Granito; EO=Esquisto de Ordenes; G= Gabro; Q= Cuarzoesquisto; A= Anfibolita; Gc= Granito caolinizado.

4-5.5 (escombreras de granitos y esquistos) el porcentaje de saturación varía considerablemente (20-90 %), pero el mayor número de muestras se encuentra en el intervalo 40-85 %. Para  $\text{pH} > 5.5$  (escombreras de gabros o esquistos de Ordenes) la saturación en aluminio es siempre inferior al 20 %, no existiendo Al de cambio en escombreras de rocas ultrabásicas (dunitas y serpentinitas).

La capacidad de intercambio catiónico efectiva es, en general, muy baja, con muchos valores en torno a 2 y 3  $\text{cmol}(+) \text{Kg}^{-1}$  (Tabla III) y destacando las escombreras de rocas ultrabásicas con CEC entre 15 y 28  $\text{cmol}(+) \text{Kg}^{-1}$  fuertemente saturadas en Mg 78-87 %. Esto crea un grave desequilibrio en la relación  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  con valores inferiores a 1, indicando una deficiencia en calcio que sería necesario corregir mediante encañado.

## CONCLUSIONES

A la vista de estos resultados, es de esperar que las escombreras muy ácidas, con  $\text{pH}$  inferior a 4 presenten dificultades para la re-vegetación por la presencia de cantidades de aluminio tóxicas, por ello habría que elegir especies muy tolerantes y frugales tales como algunas gramíneas, *Salix sp.*, *Betula sp.*, *Pinus sp.* En escombreras de rocas ácidas, con  $\text{pH}$  entre 4.5 y 5, podrían utilizarse diferentes tipos de vegetación procurando incorporar leguminosas tolerantes: *Coronilla varia*, *Mellilotus sp.*, *Cytisus scoparius*, *Ulex sp.*, *Lupinus sp.*... Únicamente los materia-

les con  $\text{pH} > 5.5$  no presentarían problemas de acidez.

En sistemas con hidromorfía y alta conductividad eléctrica, tanto ácidos como alcalinos, plantas como los juncos, tifas, musgos... pueden ser adecuadas, realizando además una función depuradora muy positiva para la calidad de las aguas (FERNANDEZ RUBIO, 1991).

Por último, las texturas con predominio de las fracciones gruesas exigen la utilización de pantallas visuales y de plantas que, como muchas enredaderas, puedan ocultar las grandes piedras aprovechando los espacios entre ellas para su nutrición.

En resumen, debe elegirse la vegetación más idónea para cada situación, atendiendo a las características físico-químicas y, especialmente, a los factores limitantes de cada tipo de escombrera. La utilización de plantas pioneras, frugales, capaces de vivir con los escasos recursos nutritivos de estos medios es muy conveniente; por lo que parece lógico la introducción de plantas micorrizadas así como la implantación de leguminosas, que aumenten los niveles de nitrógeno y fósforo.

En todo caso, la mejora de las propiedades físicas y químicas de estos suelos, mediante el aporte de sustancias ricas en materia orgánica, es siempre deseable, pudiendo utilizarse subproductos de otras actividades que muchas veces son eliminados como residuos no deseados, tales como: compost, lodos de depuradoras urbanas, lodos de fondos marinos, residuos orgánicos de industrias de la madera, de la alimentación, etc...

## BIBLIOGRAFIA

- BRADSHAW, A. D., CHADWICK, M. J. (1980). The restoration of land. *Blacwell Scientific Publications*, Oxford.
- BROWN, D., HALLMAN, R. G., LEE, C. H., SKOGERBOE, J. G., PRICE, R. A., PAGE, N. R., CLAR, M., KORT, R., HOPKINS, H. (1986). Reclamation and vegetative restoration of problem soils and disturbed lands. *Noyes Data Corporation*, 560 p. *Park Ridge*, New Jersey, U. S. A.
- DAVISON, A., JEFFERIES, B. (1966). Some experiments on the mineral nutrition of plants growing on colliery shale. *Nature*, 210: 644-650.
- DEMCHACK, K. D., MORSE, R. D., WOLF, D. D., NEAL, J. L. (1983). Phosphorous availability in mine soils as influenced by phosphorus and lime rates and organic residues. En: D. Graves (ed.) Proc. 1983 Symp. on Surface Mining Hydrology, Sedimentology, and Reclamation. *Univ. of Kentucky College of Eng.* Lexington, KY.
- FERNANDEZ-RUBIO, R. (1991). Tratamiento biológico de aguas en pantanales. *Tecnoambiente*, 4: 37-44.
- FERRARI, G. A., MAGALDI, D. (1983). Degree of soil weathering as determined by abrasion pH: applications in soil study and Paleopedology. *Pedology*, XXXIII: 93-104.
- FITTER, A. H., BRADSHAW, A. D. (1974). Response of *Lolium perenne* and *Agrostis tenuis* to phosphate and other nutritional factors in the reclamation of colliery shale. *Journal of Applied Ecology*, 11: 597-648.
- GRANDT, A. F. (1978). Mined-Land reclamation in the interior coal province. *J. Soil Water Conserv.* 33: 56-61.
- GRANT, W. H. (1969). Abrasion pH, index of chemical weathering. *Clays and Clay minerals*, 17: 151-155.
- GUITIAN OJEA, F., CARBALLAS FERNANDEZ, T. (1975). Técnicas de Análisis de suelos. *Edit. Pico Sacro*, Santiago.
- HANDLEY, J. F., DANCER, W. S., SHELDON, J. C., BRADSHAW, A. D. (1978). The nitrogen problem in derelict land reclamation with special reference to the British China Clay Industry. Environmental Management of Mineral Wastes (Ed. by G. T. Goodman and M. J. Chadwick), pp. 215-235. NATO Advanced Studies, Series E, N.º 7. Sigthoff and Nardhoff, Alphen, Netherlands.
- IGME. Mapas geológicos 1: 50.000. Hojas n.º 43, 1, 94, 71, 44, 69 correspondientes a Laxe, Cariño, Santiago de Compostela, Sobrado dos Monxes, Sisargas-Carballo, Santa Comba.
- ITGE. (1984). Mapa geocientífico del medio natural 1: 100.000. Provincia de la Coruña.
- ITGE. (1988). Inventario nacional de balsas y escombreras.
- JEFFERIES, R. A. (1980). Adaptation of legumes to extreme soils. Ph. D. thesis, University of Liverpool.
- JEFFERIES, R. A., BRADSHAW, A. D., PUTWAIN, P. D. (1981). Growth, nitrogen accumulation and nitrogen transfer by legume species established on mine spoils. *Journal of Applied Ecology*, 18: 945-956.
- OLSEN, S. R., COLE, C. V., WATANABE, F. S., DEAN, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U. S. Dep. of Agric. Circ.* 939.
- PEECH, M., ALEXANDER, L. T., DEAN, L., REED, J. F. (1947). Methods of soils analysis for soil fertility investigations. *U. S. Dep. Agr. Circ.*, 757, 25 p.
- ROMERO, R., TABOADA, T. M., GARDIA, C., MACIAS, F. (1987). Utilización del pH de abrasión como un índice del grado de evolución de la alteración y edafogénesis en suelos graníticos de la provincia de A Coruña. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 11: 171-182.
- SKEFFINGTON, R. A., DRADSHAW, A. D. (1980). Nitrogen fixation by plants grown on reclaimed china clay waste. *Journal of Applied Ecology*, 17: 469-477.

*Recibido, 31-III-92*  
*Aceptado, 17-VIII-92*