

CUANTIFICACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS EN EXPLOTACIONES MINERAS A CIELO ABIERTO

N. CAMPILLO*, F. MARTÍN*, M. SIMÓN* y A. IRIARTE**

* Dpto. Edafología y Química Agrícola, Fac. Ciencias, Univ. Granada.

** C.S.I.C., Estación Experimental del Zaidín, Granada.

Resumen

Estudiamos cinco canteras de dolomías localizadas en la Provincia de Granada. En cada una de ellas se caracteriza el suelo original y se establece el grado de diferenciación entre ellos. Las propiedades del suelo original se comparan con las del suelo que queda después de la explotación, estableciéndose el nivel de degradación de cada explotación. Capacidad de intercambio catiónico y contenido en materia orgánica son los parámetros más afectados, seguidos de los macronutrientes (N,P,K) y de la capacidad de retención de humedad. En función del nivel de degradación del suelo de cada explotación, se estima en que cantidad habría que incrementar cada propiedad para que el suelo resultante alcance propiedades similares a las del suelo original.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un importante crecimiento en la demanda de áridos para la industria y la construcción, fenómeno que ha hecho que las actividades mineras a cielo abierto proliferen por todas las regiones de la geografía nacional, ocasionando grandes cambios en los suelos ya que tienden sistemáticamente a la destrucción del solum en todo el ámbito de la explotación. En pocos meses se destruye lo que la naturaleza ha tardado miles de años en desarrollar.

A pesar de que el interés sobre el tema que nos ocupa es relativamente reciente, ya anteriores autores (Mateo et al., 1993) pusieron de manifiesto el grave impacto ambiental de las canteras de calizas y dolomías, debido tanto a las molestias que ocasiona (ruido, polvo, voladuras, etc.) como a las drásticas transformaciones que produce en el territorio

(impacto paisajístico). La restauración de los terrenos afectados por la explotación presenta a su vez serios problemas debido a su escasa o nula fertilidad química, escasez de materia orgánica, falta de estructura, ausencia de actividad microbiana y, sobre todo, bajo contenido en nitrógeno (García Arrese et al., 1993).

El propósito de este trabajo es estudiar el efecto que la explotación de áridos a cielo abierto (dolomías tectonizadas) tiene sobre las propiedades de los suelos, cuantificar dichos efectos y, en lo posible, apuntar las medidas necesarias para su recuperación. En definitiva, se tratará de establecer unas medidas mínimas para invertir la tendencia actual de un sistemático deterioro ambiental, a fin de acercarnos a un desarrollo sostenible capaz de compatibilizar el desarrollo socio-económico con la conservación del medio natural.

FACTORES FORMADORES DE LA ZONA

Las canteras estudiadas se ubican en el Parque Natural de la Sierra de Huétor Santillán (HS) y en la Sierra de la Alfaguara (AL), ambas situadas al norte de la ciudad de Granada, entre las coordenadas UTM 451-457 y 4120-4123, ocupando parte de las hojas 1009 (Granada) y 1010 (La Peza) editadas por el Servicio Geográfica del Ejército a escala 1:50.000.

Los materiales litológicos sobre los que se desarrollan son las dolomías tectonizadas del N. de la Depresión de Granada, diferenciándose en dolomicritas y doloesparitas (IGME, 1980). El clima se corresponde con el tipo mediterráneo sin influencia costera, con una precipitación media anual en torno a 700 mm, una temperatura media de 12.2 °C y una ETP en torno también a los 700). La clasificación de Koppen modificada (López Gómez, 1959) lo define como un clima tipo Csa3: C = clima templado, con temperaturas del mes más frío entre 18 y — 3°C; s = el mes más húmedo de la estación fría tiene el triple o más de precipitaciones que el mes más seco; a3 = el mes más cálido tiene una temperatura media superior a 22 °C y la temperatura del mes más frío oscila entre 6 y 0 °C.

La vegetación de la zona (Valle et al., 1987), se divide en dos pisos bioclimáticos: El Mesomediterráneo, con temperatura media entre 12 y 16 °C y mínima entre 3 y 0°C, se localiza entre los 1.200 y 1.400 m. de altitud, si bien en orientaciones sur (exposiciones soleadas) puede alcanzar los 1.500 m. Este piso, muchas veces queda desdibujado e incluso sustituido por el piso Supramediterráneo, con una temperatura media entre 8 y 12 °C y mínima entre 0 y —3°C, que comenzaría a partir de los 1.400 m., siendo frecuente en exposiciones norte entre 1.200 y 1.400 m. La serie de vegetación más importante es la de encinares sobre suelos ricos en bases (Serie meso-supramediterránea bética basífila de la encina. *Paeonio coriaceae-Quercetum rotundifoliae sigmetum*). Teóricamente, esta serie se extendería por la mayor parte de estas sierras, pero la fuerte acción humana ha reducido su presencia considerablemente, siendo muy pocos los enclaves donde en la actualidad podemos observar su primitiva estructura, predominando las áreas repobladas con pinos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio se seleccionaron tres canteras en Huétor Santillán (HS) y dos en La Alfaguara (AL). En las canteras de Huétor Santillán, todas ellas situadas en el piso Mesomediterráneo, se estudiaron los suelos más representativos no afectados por la explotación (suelos HS1, HS2 y HS3). En las canteras de la Alfaguara, debido a que en su entorno aparecen los pisos Meso y Supramediterráneo, estudiamos el suelo más representativo de cada piso (suelos AL4 y AL5, respectivamente). En cada uno de los suelos se llevó a cabo una descripción macromorfológica (FAO, 1977). Muestra de los distintos horizontes se secaron al aire y se tamizaron con una luz de malla de 2 mm, separando la grava (>2mm) de la tierra fina (<2mm). La caracterización analítica de la tierra fina se llevó a cabo por los siguientes métodos: carbonato cálcico equivalente (Barahona, 1984), nitrógeno (Bouat y Crouzet, 1965), capacidad de cambio (con acetato sódico, 1N a pH=8.2), bases de cambio (con acetato amónico, 1N a pH=7), materia orgánica (Tyurin, 1951), fósforo asimilable (Burriel-Hernando, 1974), pH se midió en una suspensión suelo:agua (1:2.5), pF a 33 kPa (Richards, 1945), densidad aparente (método del cilindro) y textura mediante la Pipeta de Robinson (Soil Conservation Service, 1972).

Las propiedades de los suelos se cuantificaron en términos de volumen de suelo (m^2 y una profundidad de 75 cm), teniendo en cuenta la densidad aparente de cada horizonte y su contenido en grava. De la misma forma se cuantificaron las propiedades que deberían tener los suelos afectados por la explotación, suponiendo que dichas propiedades, en los 75 cm de espesor del suelo, serían las del horizonte C del suelo no afectado. Es decir, consideramos que las labores mineras eliminan el solum y dejan el perfil formado únicamente por el horizonte C, que será el que aporte todas sus propiedades al nuevo suelo. La cuantificación de la degradación del suelo se estimó por diferencia en las propiedades de los suelos antes y después de la explotación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los suelos afectados por la actividad minera

Las propiedades de los suelos están reguladas en gran medida por el tipo de material original sobre el que se forman: dolomicritas (HS1, HS2, AL4 y AL5) y doloeparitas (HS3). En general presentan una secuencia de horizontes de tipo A-Bw-C y se encuadran en la categoría de Cambisoles Calcáricos (FAO, 1998), excepto el suelo AL5 localizado en el piso Supramediterráneo, que desarrolla un horizonte mólico y se encuadra en la categoría de Phaeozem calcárico ([Tabla 1](#)). En ningún suelo se aprecia acumulación de

carbonato secundario en el horizonte C. Las texturas del solum varían de arenosas en el suelo desarrollado sobre doloesparitas (HS3) a francas en los suelos de La Alfaguara (AL4 y AL5), pasando por arenosa franca en los suelos HS1 y HS2 ([Tabla 2](#)). Los datos analíticos ([Tabla 3](#)) muestran pH y contenido en carbonatos muy elevados (>7.9 y $>55\%$, respectivamente), siendo algo más bajos en los horizontes A, donde hay acumulación de materia orgánica y un cierto lavado de carbonatos. El contenido en carbono orgánico de los horizontes superficiales está en torno al 2% en la mayoría de los suelos, incrementándose fuertemente en el piso Supramediterráneo (AL5). En todos los casos el complejo de cambio está dominado por Ca^{2+} , seguido de Mg^{2+} y cantidades inferiores de K^+ , siendo muy minoritario el Na^+ .

La capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.) está correlacionada con el contenido en carbono orgánico (C.O.) y arcilla por la siguiente ecuación:

$$\text{C.I.C (cmol}_c \text{ kg}^{-1}) = 4.968 \text{ C.O. (\%)} + 0.194 \text{ arcilla (\%)} \quad r^2 = 0.989$$

que indica que el carbono orgánico presenta un valor medio de capacidad de intercambio de cationes 25 veces superior al de la arcilla.

Los nutrientes del suelo (N, P y K), expresados en mg kg^{-1} , están relacionados con el contenido en carbono orgánico mediante la ecuación:

$$\text{C.O. (\%)} = 0.71 \text{ P}_2\text{O}_5 + 2.564 \cdot 10^{-2} \text{ N} + 0.75 \text{ K} \quad r^2 = 0.984$$

El valor de densidad aparente de los distintos horizontes (D_a) está correlacionada con el contenido en C.O.(%) y la textura (%) mediante la ecuación:

$$D_a = -0.030 \text{ C.O.} + 0.008 \text{ Grava} + 0.012 \text{ Arena} + 0.014 \text{ Limo} - 0.005 \text{ Arcilla}$$

$$r^2 = 0.996$$

en la que se aprecia que tanto la arcilla como la materia orgánica afectan negativamente a la D_a , debido tanto a que la materia orgánica tiene menos densidad que la fracción mineral como a que ambos parámetros intervienen en la formación de la estructura y, por tanto, en la porosidad del suelo.

A partir de los datos de las [tablas 2](#) y [3](#) se estableció un dendograma del índice de diferenciación entre los distintos horizontes de los suelos, agrupándose en cinco clases diferentes ([Figura 1](#)). Los valores medios de las propiedades de estas clases de suelos están contenidas en la [Tabla 4](#).

La clase 1 la forma el solum del suelo AL5, que tiene los valores medios más elevados de C.O., C.I.C., P_2O_5 , K, N, arcilla y Humedad a 33 kPa, y los más bajos de pH, CaCO_3 , grava y arena, lo que se debe a su orientación norte, localización en el piso Supramediterráneo y mayor desarrollo de la vegetación natural (encinar-matorral). La clase 2 corresponde al solum del suelo AL4, que no se agrupa con el anterior debido a su ubicación en el piso Mesomediterráneo y con una vegetación menos desarrollada (matorral-tomillar). No obstante, es la clase que presenta menores diferencias con la clase

1, con un valor medio de sus parámetros que están entre los de la clase 1 y la 3. Esta última, agrupa al solum de los suelos de la Sierra de Huétor, caracterizados por una repoblación de pinos y un sotobosque muy degradado perteneciente al piso Mesomediterráneo. La clase 4 está formada por los horizontes C de los suelos HS1, HS2, AL4 y AL5, desarrollados sobre dolomicritas; mientras que la clase 5 la forma el horizonte C del suelo HS3 desarrollado sobre doloesparita. Estas dos últimas clases, debido a que se trata de la dolomía sin o muy poco alterada, presentan los valores medios más elevados de pH, CaCO₃ y grava, y los más bajos de C.O., C.I.C., P₂O₅, K, N, Humedad a 33 kPa y arcilla, siendo la clase 5 desarrollada sobre doloesparita la que presenta la textura más gruesa y menor retención de humedad. Este último hecho es debido a que el % de retención de humedad a 33 kPa de los distintos horizontes está relacionado con el contenido en carbono orgánico (%) y la granulometría (%) mediante la ecuación:

$$\text{Humedad 33 kPa}(\%) = 2.016 \text{ C.O.}(\%) + 0.611 \text{ Arcilla}(\%) + 0.125 \text{ limo}(\%) \quad r^2 = 0.988$$

que pone de relieve que la mayor capacidad de retener humedad en un suelo la aporta la fracción sólida orgánica, en una proporción tres veces superior la de la arcilla y 16 veces superior a la del limo.

Estimación de las pérdidas que se producen en el suelo como consecuencia de la actividad minera

La valoración de la degradación del suelo se estimó a partir de la diferencia en los suelos, antes y después de la extracción de áridos, de aquellas propiedades más relevantes desde el punto de vista del desarrollo de la comunidad vegetal, como son: capacidad de retención de agua del suelo a 33 kPa (C.R.A.), capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y el contenido en nutrientes fundamentales como nitrógeno, fósforo y potasio ([Fig. 2a](#), [2b](#) y [2c](#)). Además, estas propiedades son de gran relevancia en la fase de restauración de los terrenos afectados, ya que, por un lado, proporcionan la información necesaria para poder determinar las características del material empleado en la regeneración del ecosistema, y, por otro lado, condicionan la adaptación y supervivencia de la vegetación a implantar; por lo que es necesario evaluarlas a priori si se quiere estimar la viabilidad de un proyecto de revegetación.

Por otra parte, dado que los suelos no afectados por las explotaciones presentan características diferentes, no sería lógico que a la hora de la recuperación pretendiésemos que todas las canteras llegasen a tener propiedades similares. Para cada cantera se debe de procurar que, después de la recuperación, los suelos tengan unas propiedades equivalentes a las de los suelos de su entorno no afectados por la explotación. En este sentido, podemos utilizar las clases establecidas en el dendograma del índice de diferenciación (Fig. 1) a fin de agrupar las canteras tanto desde el punto de vista de su degradación como del de su recuperación. Así, desde el punto de vista de la regeneración.

Las diferentes canteras estarían agrupadas en 4 clases. La clase 1 estaría formada por la cantera del suelo AL5 (dolomicrita, Supramediterráneo, orientación N y vegetación natural de encinar-matorral) , la clase 2 por la del suelo AL4 (dolomicrita, Mesomediterráneo, orientación NE y vegetación natural de matorral-tomillar), la clase 3 por la de los suelos HS1 y HS2 (dolomicrita, Mesomediterráneo, orientación O y repoblación de pinos) y la clase 4 por la del suelo HS3 (doloeparita, Mesomediterráneo, orientación S y repoblación de pinos). En estas dos últimas clases, si bien las propiedades del solum de sus suelos pueden ser equivalentes ([Fig. 1](#)), el horizonte C del suelo HS3 presenta características claramente diferente por ser una doloeparita, lo que puede dar resultados diferentes a la hora de evaluar la degradación.

De acuerdo con los resultados de la [Fig. 2a](#), [2b](#) y [2c](#), la degradación más acusada, estimada por el porcentaje de reducción de cada propiedad en los suelos de la explotación respecto a los de su entorno, se produce tanto en la capacidad de intercambio catiónico como en el contenido de materia orgánica, decreciendo en todos los suelos afectados por la explotación entre un 75 y un 95% aproximadamente. Como es lógico, la mayor degradación tiene lugar en el suelo de la clase 1 (AL5) que, por la combinación de sus factores formadores, tenía un mayor desarrollo de estas propiedades. El fósforo disminuye entre el 55-80% y el potasio entre el 60-86% aproximadamente, siendo también en la clase 1 donde esta disminución es más acusada. El nitrógeno decrece en torno al 50% en los suelos de las clases 3 (HS1 y HS2) y 4 (HS3), y en torno al 80% en los suelos de las clases 1 (AL5) y 2 (AL4); lo que hay que atribuir al mayor contenido en N del solum de estas últimas, debido a que su vegetación natural tiene un mayor contenido en N que los pinos de repoblación (García et al., 1984). Con respecto a la capacidad de retención de agua, la mayor disminución porcentual (75%) se produce en el suelo de la clase 4 (HS3), no como consecuencia de una alta capacidad de retención del solum, sino por la gruesa textura y baja capacidad de retención de la doloeparita; le sigue la clase 1 (65%), en la que la capacidad de retención de humedad es la más alta debido al elevado contenido en materia orgánica del solum. Las demás clases presentan una disminución de la capacidad de retención de humedad de entre el 25 y 35%. En el caso de la clase 2 (AL4), esta disminución es menor de la que cabría esperar debido al mayor contenido en elementos finos de la dolomía ([Tabla 2](#)) y, en consecuencia, mayor capacidad de retención de humedad del horizonte C.

Basándonos en las pérdidas que se producen en cada clase, se puede estimar las características de los materiales que se vayan a emplear en la regeneración de los suelos, una vez que cese la actividad extractiva. El material aportado debería mezclarse con la dolomía, formando una capa lo más homogénea posible de unas 30 cm de espesor, ya que esta es la profundidad media del solum de los suelos ([Tabla 1](#)). Estos primeros 30 cm del suelo, una vez efectuada la homogeneización, deberían incrementar sus propiedades en una cantidad equivalente a las pérdidas producidas por la actividad extractiva; lo que podría conseguirse, bien seleccionando el material, o bien, para un material dado, calculando la cantidad necesaria. Así, la calidad y/o cantidad del material o materiales aportados debería incrementar el contenido en carbono orgánico de los primeros 30 cm en torno a 7 kg m^{-2} en el caso de la clase 1 (AL1), en trono 3 en las clases 2 y 3 (HS1 y HS2) y en trono a 1.5 en la clase 4 (HS3). El incremento en la capacidad de cambio debería ser de unos 45 eq m^{-2} en la clase 1 y de 15 en las demás clases. El incremento en

N sería de 400 g m^{-2} en la clase 1, 250 en la clase 2, en torno a 100 en la clase 3 y solo de 50 en la clase 4. El incremento en P_2O_5 oscilaría entre 50 g m^{-2} en la clase 1 y 20 en las demás clases; y el incremento en K de 30 g m^{-2} en la clase 1 y de unos 10 en las demás clases.

CONCLUSIONES

Las actividades mineras a cielo abierto provocan una fuerte degradación de los suelos, especialmente en lo que respecta a la capacidad de intercambio catiónico y contenido en materia orgánica de los suelos; degradaciones menos acusadas, aunque no por ello menos importantes, se producen también en el contenido en nutrientes y en la capacidad de retención de agua de los suelos. Esta degradación puede ser muy diferente en cada explotación, incrementándose generalmente en función del grado de desarrollo de los suelos a los que afecta; de ahí que las medidas de regeneración deban de establecerse para cada explotación, intentando que el suelo regenerado tenga una propiedades equivalentes a las del suelo original.

BIBLIOGRAFIA

Barahona Fernández, E. et al. (1984). Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de métodos I.V. Determinación de carbonatos totales y caliza activa (Grupo de Trabajo de Normalización de Métodos Analíticos). En: Actas del I Congreso de la Ciencia del Suelo. Madrid I, 53-69.

Bouat, A. et Crouzet, B. (1965). Notes techniques sur un appareil semi-automatique de dosage de l'azote et des certains composés volatils. Ann. Agron., 16 (1): 107-118.

Burriel, F. y Hernándo, V. (1974). Nuevo método para determinar el fósforo asimilable en los suelos. Anal de Edaf. y Fisiol. Veg., 9: 611-622.

FAO (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma.

FAO (1998). World Reference Base for Soil Resources. Rome.

García Arrese, A.M., Quintas, Y y Macías, F. (1993). Aprovechamiento de lodos de distinto origen para la recuperación de escombreras de mina: ensayos de mineralización de nitrógeno en laboratorio. En: Problemática Geoambiental y Desarrollo. R. Ortiz Silla

(ed.). Vol I, pp. 335-343. Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Murcia.

García Fernández, I. Y Simón Torres, M. (1984). Influencia del factor antrópico en los suelos desarrollados sobre cuarcitas en clima xérico. *Anal de Edaf. y Agrobiol.*, 43, 3-4: 443-461.

I.G.M.E. (1980). Mapa Geológico de España. E. 1:50000. La Peza (1.010). De. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

López Gómez, J. (1959). El clima en España según la clasificación de Koppen. *Rev. Est. Geograf.*, 20: 167-188.

Mateo, P.A.; Pina, J.A.; Auernheimer, C. (1993). Restauración piloto de la cantera de caliza <<Cabeço D'Or>> en Busot (Alicante). En: *Problemática Geoambiental y Desarrollo*. R. Ortiz Silla (ed.). Vol I, pp. 381-388. Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Murcia.

Soil Conservation Service (1972). Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soils samples. *Soil Surv. Report*. 1. USDA. Washington, E.E.U.U.

Tyurin, I.V. (1951). Analytical procedure for a comparature study of soil humus. *Trudy. pochr. Inst. Dokuchaeva*, 38,5.

Valle, F. y Díaz de la Guardia, C. (1987). *La Alfaguara y su entorno vegetal*.

FIGURAS Y TABLAS.

Tabla 1. Características macromorfológicas

Suelo	Orientación	Altitud (m)	Pendiente (%)	Horizontes	Profundidad (cm)	Color seco	Estructura (Tipo/Grado)
HS1	N	1.200	35	A	0-7	5YR 5/3	mf / m
				Bw	7-30	5YR 6/3	bsm / d
				C	>30	2.5Y 8/1	gs
HS2	O	1.150	20	A	0-9	7.5YR 5/2	mf-bsaf / m
				Bw	9-38	7.5YR 6/2	bsf / d
				C	>38	2.5Y 8/2	gs
HS3	S	1.170	7	A	0-10	10YR 6/4	mf / d
				Bw	10-60	10YR 6/6	bsf / d
				C	>60	2.5Y 8/1	gs
AL4	NE	1.250	40	A	0-8	10YR 5/3	mf / m
				Bw	8-28	10YR 6/3	bsf / m
				C	>28	2.5Y 7/1	gs
AL5	N	1.300	30	A1	0-7	7.5YR 4/3	mf / f
				A2	7-25	7.5YR 4/3	bsf / f
				C	>25	5YR 7/1	gs

Tipo: mf = migajosa fina; bsm = bloques subangulares medianos; bsf = bloques subangulares finos; gs = grano suelto.

Grado: f = fuerte; m = mediano; d = débil.

Tabla 2. Características granulométricas

Análisis granulométrico %

Suelo- hor	Grava (%)	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena mediana	Arena fina	Arena muy fina	Limo grueso	Limo fino	Arcilla
HS1 — A	52.6	14.4	11.0	10.3	34.0	14.3	3.6	6.0	6.4
— Bw	42.3	8.1	5.9	7.6	45.2	21.0	2.2	3.4	6.6
— C	51.0	25.5	16.3	10.3	19.0	12.0	5.5	7.1	4.2
HS2 — A	28.0	3.7	4.2	6.5	43.4	28.3	3.0	4.2	6.7
— Bw	55.4	12.9	7.6	4.5	27.5	32.5	4.5	5.0	5.5
— C	56.0	23.2	17.7	10.9	15.0	17.2	5.9	4.8	5.3
HS3 — A	44.7	10.9	4.9	4.7	37.9	22.0	8.1	4.8	6.8
— Bw	26.9	7.2	3.7	5.7	50.5	24.0	2.3	2.6	4.0
— C	72.2	4.9	3.6	27.3	46.1	12.0	1.2	1.0	3.8
AL4 — A	24.2	19.2	18.3	8.2	3.9	5.8	20.7	17.2	6.7
— Bw	32.0	11.2	11.0	3.4	1.8	6.9	36.3	25.0	4.4
— C	57.5	21.8	23.3	13.6	7.6	2.9	10.3	15.8	4.8
AL5 — A1	17.8	2.2	4.2	3.3	8.0	10.3	27.5	22.0	22.5
—A2	24.8	6.0	5.7	4.4	7.6	10.9	21.8	23.2	20.4
— C	54.0	33.6	21.3	8.9	4.4	6.8	7.9	12.1	4.9

Tabla 3. Características analíticas

= Suelo- hor	C.O. (%)	pH	CaCO ₃ (%)	Ca ²⁺	cmol _e kg ⁻¹				V (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K (mg/100g)	N (%)	C/N	D _a (g/cm ³)	Humedad 33kPa (%)
					Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	T							
HS1- A	2.05	8.1	89.1	12.75	5.27	0.06	0.16	13.88	100	12.46	7.54	0.074	23.7	1.45	9.85
Bw	0.83	8.5	90.0	13.25	5.51	0.09	0.09	5.08	100	8.46	4.24	0.033	21.2	1.56	6.71
C	0.06	9.2	92.9	10.50	5.60	0.06	0.02	0.73	100	2.26	0.94	0.014	2.5	1.66	4.00
HS2- A	2.19	8.1	79.3	13.00	4.77	0.03	0.13	10.21	100	19.06	6.12	0.075	24.9	1.38	8.82
Bw	0.95	8.5	91.8	9.50	3.87	0.03	0.05	4.34	100	8.26	2.35	0.038	18.4	1.52	8.19
C	0.06	9.3	97.7	16.25	4.61	0.06	0.02	0.68	100	2.06	0.94	0.015	3.5	1.64	4.59
HS3- A	0.60	8.7	94.3	7.75	5.10	0.06	0.09	3.61	100	7.26	4.24	0.038	13.4	1.17	7.93
Bw	0.34	8.6	88.1	6.75	4.94	0.03	0.05	4.29	100	6.06	2.35	0.021	13.8	1.36	5.01
C	0.05	9.1	94.7	7.00	4.20	0.09	0.02	1.41	100	2.66	0.94	0.017	6.5	1.74	1.61
AL4- A	1.43	8.2	61.8	13.75	7.74	0.03	0.13	9.48	100	10.66	6.12	0.098	12.5	1.33	7.84
Bw	1.04	8.4	87.6	10.75	6.26	0.06	0.05	5.81	100	8.86	2.35	0.084	10.6	1.49	14.09
C	0.06	8.8	97.7	12.50	9.74	0.02	0.02	0.68	100	2.86	0.94	0.011	4.8	1.76	6.33
AL5- A1	5.60	7.9	55.3	23.00	7.33	0.06	0.60	31.47	90	37.66	28.26	0.297	16.1	0.90	31.43
A2	2.93	8.1	63.5	19.50	5.43	0.03	0.27	19.74	100	21.06	12.72	0.189	13.2	1.10	23.88
C	0.06	9.4	97.7	13.25	5.93	0.03	0.02	0.26	100	2.26	0.94	0.017	3.51	1.56	4.46

Tabla 4. Valores medios de las distintas clases según el índice de diferenciación entre horizontes mediante análisis de conglomerados jerárquicos (hierarchical cluster analysis) por el método de correlación de Pearson.

PARÁMETRO	CLASES				
	1	2	3	4	5
PH	8.0	8.3	8.4	9.2	9.1
CaCO ₃ (%)	59.4	74.7	88.8	96.5	94.7
C.O. (%)	4.27	1.24	1.16	0.06	0.05
C.I.C. (cmol _c kg ⁻¹)	25.61	7.65	6.90	0.59	1.41
P ₂ O ₅ (mg/100g)	29.36	9.76	10.26	2.36	2.66
K (mg/100g)	20.49	4.24	4.47	0.94	0.94
N (%)	0.243	0.091	0.047	0.014	0.017
HUMEDAD (%) 33 kP	27.66	10.97	7.75	4.85	1.61
GRAVA (%)	21.3	28.1	41.7	54.6	72.2
ARCILLA (%)	21.5	5.6	6.0	4.8	3.8
ARENA (%)	31.3	44.9	85.7	77.8	93.9

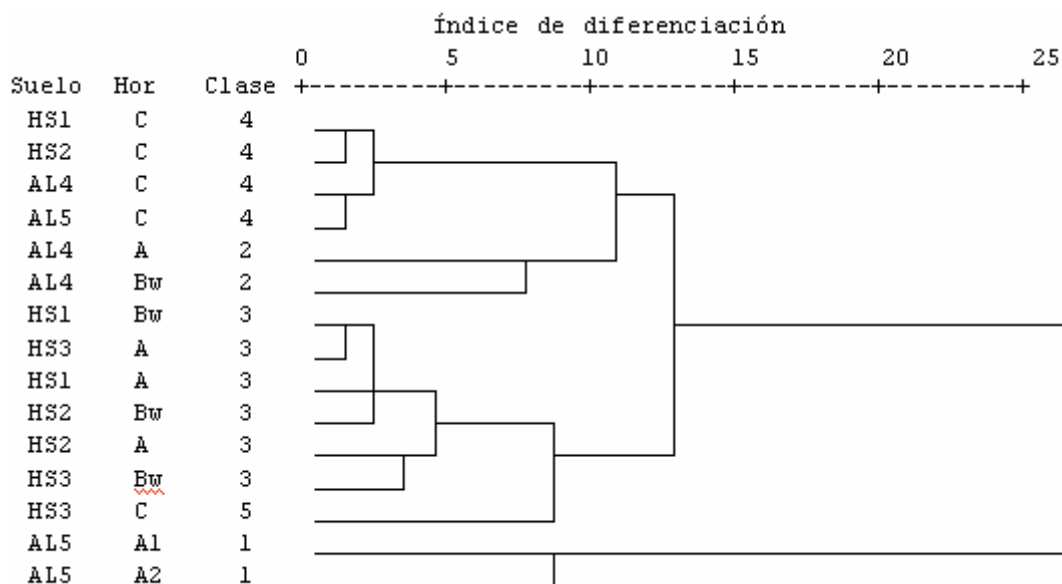


Fig1. Dendrograma del índice de diferenciación entre los distintos horizontes de los suelos.

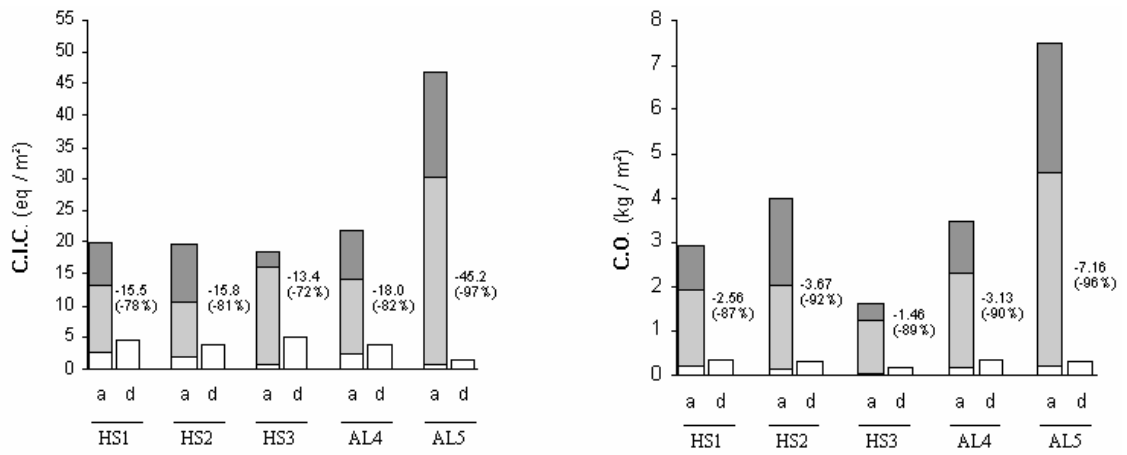


Fig. 2a. Propiedades de los suelos antes (a) y después (d) de la explotación minera, expresados en m^2 y a una profundidad de 75 cm. Se refleja la disminución de cada propiedad, tanto en valor absoluto como en porcentaje (en paréntesis), en los suelos afectados por la explotación.

■ Horiz. A, ■ Horiz. Bw, □ Horiz. C.

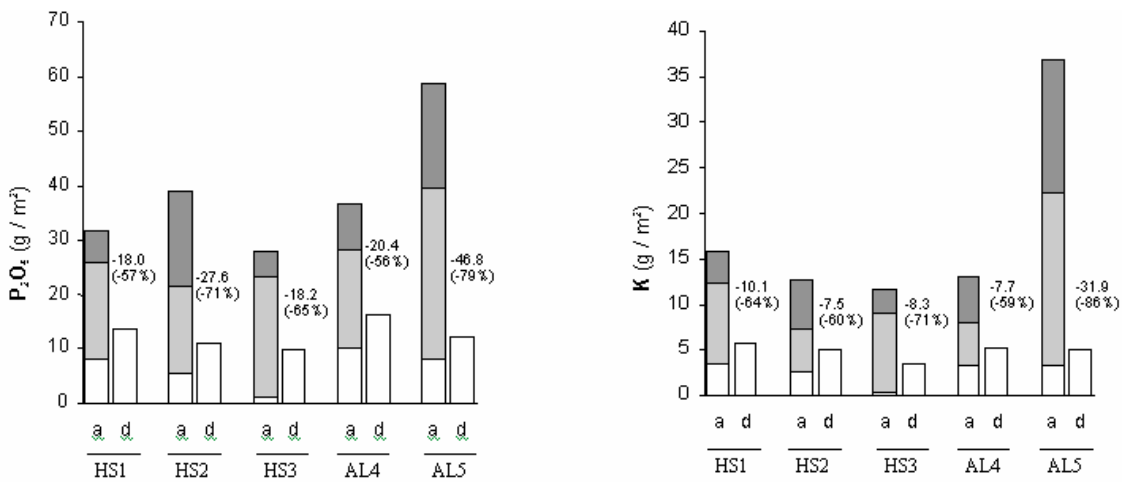


Fig. 2b. Propiedades de los suelos antes (a) y después (d) de la explotación minera, expresados en m^2 y a una profundidad de 75 cm. Se refleja la disminución de cada propiedad, tanto en valor absoluto como en porcentaje (en paréntesis), en los suelos afectados por la explotación.

■ Horiz. A, ■ Horiz. Bw, □ Horiz. C.

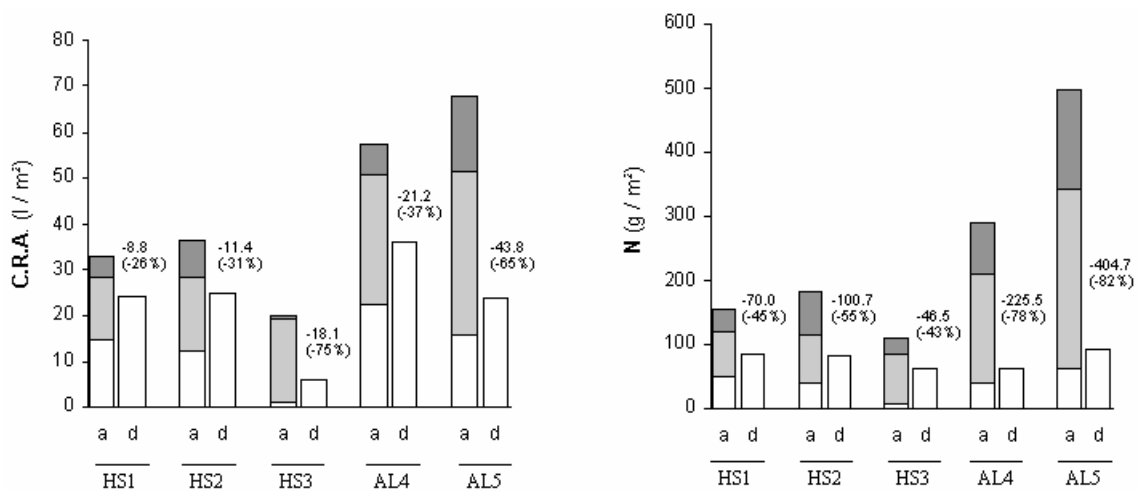


Fig. 2c. Propiedades de los suelos antes (a) y después (d) de la explotación minera, expresados en m^2 y a una profundidad de 75 cm. Se refleja la disminución de cada propiedad, tanto en valor absoluto como en porcentaje (en paréntesis), en los suelos afectados por la explotación.

■ Horiz. A, ■ Horiz. Bw, □ Horiz. C.

